

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**JÉSSICA FERNANDES KASEKER**

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ACÍCULAS, SERAPILHEIRA, SOLOS  
RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFÉRICO E VARIABILIDADE ESPACIAL EM  
ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Pinus taeda* L.**

**CURITIBA**

**2012**

**JÉSSICA FERNANDES KASEKER**

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ACÍCULAS, SERAPILHEIRA, SOLOS  
RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFÉRICO E VARIABILIDADE ESPACIAL EM  
ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Pinus taeda* L.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

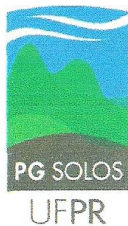
Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann

Co-orientador: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo

Prof. Dr. Luiz Cláudio de Paula Souza

**CURITIBA**

**2012**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIA DO SOLO

## PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **JÉSSICA FERNANDES KASEKER**, sob o título: "**Composição química de acículas, serapilheira, solos rizosférico e não rizosférico e variabilidade espacial em ensaio de omissão de nutrientes em *Pinus taeda* L.**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Solo e Ambiente"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 24 de fevereiro de 2012.

  
Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, Presidente

  
Profª. Drª. Silvia Schmidt Keil, Iº. Examinadora, Iº. Examinador

  
Prof. Dr. Emilio Trevisan, IIº. Examinador



## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Osny e Elma, por todo apoio, carinho, confiança e orgulho demonstrados a cada nova conquista em minha vida.

A minha irmã Pâmela, por todo cuidado, amizade e incentivo.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado forças para chegar ao final de mais esta etapa.

Ao meu orientador, Professor Bruno, um agradecimento especial não somente pela realização deste trabalho, mas principalmente por ter me trazido para o campo da pesquisa, e me conduzido até aqui durante cinco anos. Obrigada pela oportunidade, por todos os ensinamentos, pela amizade, confiança e paciência nos meus momentos de “faísca atrasada”.

Aos meus co-orientadores, Vander e Luiz Cláudio, pelos ensinamentos, conselhos e sugestões que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

À Empresa Slaviero Florestal, por disponibilizar a área de estudo e pelo apoio técnico, e especialmente aos funcionários Márcio e Gelson, pelo auxílio no campo.

Ao Dr. Edilson de Oliveira, CNPF – EMBRAPA, pelo auxílio nos procedimentos estatísticos.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade da realização do curso, e a todos os professores, pelos ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento profissional e também pessoal.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, em especial os laboratoristas Aldair, Roberto e Letícia, pelo auxílio na realização das análises e pela paciência quando eu me via perdida nos procedimentos.

À todos os colegas e amigos que estiveram ao meu lado, em especial à Kharyn, Verediana, Giovana, Francihele, Bruna, Daniel, Ricardo, Julierme e Rangel, pelo auxílio nos procedimentos, e principalmente por tornarem mais alegres os meus dias.

À minha grande amiga Marília um agradecimento especial por todo incentivo, auxílio, companheirismo, alegria e principalmente compreensão diante das minhas manias em todos os anos de amizade e trabalho.

Ao meu pai, Osny, que sempre me incentivou a seguir em frente, e à minha mãe, Elma, que além do todo o apoio também não hesitou em vestir o jaleco e passar horas no laboratório junto comigo quando mais precisei.

À minha irmã Pâmela, pela disposição em ajudar, e principalmente por me motivar a seguir meus estudos.

À todos aqueles que contribuíram de alguma forma, e que eu tenha esquecido de agradecer.

Muito obrigada!

# **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ACÍCULAS, SERAPILHEIRA, SOLOS RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFÉRICO E VARIABILIDADE ESPACIAL EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Pinus taeda* L.<sup>1</sup>**

Autor: Jéssica Fernandes Kaseker

Orientador: Prof. Dr. Bruno Carlos Reissmann

Co-orientador: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio de Paula Souza

## **RESUMO GERAL**

Diante das alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas que podem ser ocasionadas pelos plantios de pinus, surge a necessidade de maiores estudos sobre as características do solo e aspectos nutricionais das plantas visando a não exaustão dos sítios florestais. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a fertilidade do solo, a nutrição e o desenvolvimento do pinus sob adubação com omissão de P, K, Ca e Mg e adição compensatória de apatita, feldspato e piroxênio particulados, e determinar a dependência espacial das variáveis dendrométricas e dos teores nutricionais analisados. Foram delimitadas 25 parcelas experimentais, formadas por um par de árvores dominantes, onde foram aplicados os tratamentos: T1 – Testemunha sem adubação; T2 – Testemunha com adubação completa (N, P, K, calcário e os micronutrientes Cu, Zn e B); T3 – Adubação com N, K, calcário, micronutrientes, omissão de P e adição de apatita; T4 - Adubação com N, P, K, micronutrientes, omissão de Ca e Mg e adição de piroxênio; T5 - Adubação com N, P, calcário, micronutrientes, omissão de K e adição de feldspato. Decorridos um ano da implantação, foram coletadas acículas de primeiro e segundo lançamento, e também o pendão, amostras do sub-horizonte Ln da serapilheira e monólitos de solo até 10 cm de profundidade de onde foram extraídas as raízes e separados o solo rizosférico e não rizosférico. Também foi realizada a medição de parâmetros dendrométricos altura, diâmetro na altura do peito (DAP), comprimento do lançamento e peso de 100 acículas. As amostras foram analisadas quimicamente em laboratório, e os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias, e também à análise geoestatística. Os tratamentos mostraram influência sobre os atributos químicos do solo não rizosférico e também do rizosférico, porém de maneira bastante variada. Os tratamentos não influenciaram as variáveis dendrométricas analisados. Nas acículas, foram observados efeitos dos tratamentos apenas nos teores de P, Ca e Mn nas acículas na primeira coleta. Os atributos de solo analisados não apresentaram dependência espacial, Já os atributos nutricionais das acículas e da serapilheira, de maneira geral, apresentaram forte nível de dependência espacial, assim como as variáveis dendrométricas altura, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos. A análise dos níveis nutricionais indicou que a variação nos teores de nutrientes no sub-horizonte Ln da serapilheira e no solo não acompanharam a variação nos níveis dos teores nas acículas.

**Termos de indexação:** Parâmetros dendrométricos, composição química, rizosfera, geoestatística.

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (95 p.) Fevereiro, 2012.

**CHEMICAL COMPOSITION OF NEEDLES, LITTER, RHIZOSPHERIC AND NON  
RHIZOSPHERIC SOIL AND THE SPATIAL VARIABILITY IN A NUTRIENT  
OMISSION STUDY IN *Pinus taeda* L.**

Author: Jéssica Fernandes Kaseker

Advisor: Prof. Dr. Bruno Carlos Reissmann

Co-advisor: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo

Co-advisor: Prof. Dr. Luiz Cláudio de Paula Souza

**GENERAL ABSTRACT**

Given the physical, chemical and biological modification that occurs in soil caused by pine plantations, further studies on the soil characteristics and nutritional aspects of the plant are required to avoid depletion of forest sites. Accordingly, the purpose of the present study was to evaluate the soil fertility, nutrition and development of pinus through fertilization without P, K, Ca and Mg and compensatory addition of apatite, feldspar and pyroxene particles, to establish the spatial dependence of dendrometric variables and nutritional content. Twenty five sample units were established, formed by a pair of dominant trees, where were applied the following treatments: T1 – control without fertilizer; T2 – Complete fertilization (N, P, K, lime, and micronutrients Cu, Zn and B); T3 – fertilization with N, K, lime, micronutrients, omission of P and addition of apatite; T4 – fertilization with N, P, K, micronutrients, omission of Ca and Mg and addition of pyroxene; T5 – fertilization with N, P, lime, micronutrients, omission of K and addition of feldspar. After one year were collected needles from the first and second flushes from the last growing season, also the flush, litter (Ln), and soil monoliths at 0 – 10 cm depth, from which were extracted roots and rhizosphere and non rhizosphere soil. Also, measurements of total tree high (H), diameter at Breast height (DBH), weight of 100 needles, flush length and live whorls were recorded. The samples were chemically analyzed in a laboratory and the results submitted to submitted variance and media comparison and geostatistical evaluation as well. The treatments influenced rhizosphere and non rhizosphere soil attributes, however in an ample varied manner. No influence was found in the analyzed dendrometric variables. In the needles from the first sampling time, were observed significant effects in the P, Ca and Mn contents. Soil attributes did not present any spatial dependency, while nutritional aspects of needles and liter, generally presented significant spatial dependency, as well as dendrometric measurements of total tree high (H), flush length and live whorls. Analysis of nutritional levels indicated that the variance observed in the nutritional content of Ln layers from litter did not go along with the content variation observed in needles.

**Index terms:** Dendrometric parameters, chemical composition, rizosphere, geostatistics.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Croquis da área experimental.....	30
Figura 2.2 – Tubo rizosférico contendo cilindro de nylon com mineral particulado.....	31
Figura 2.3 – Correlação entre teor de carbono e CTC no solo não rizosférico sem adubação (A), solo não rizosférico com adubação (B), solo rizosférico sem adubação (C) e solo rizosférico com adubação (D).....	37

### CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Croquis da área experimental.....	75
Figura 3.2 – Representação de um semivariograma (Landim & Struraro, 2002).....	78
Figura 3.3 – Semivariogramas das variáveis peso de 100 acículas (A) e diâmetro (B).....	81
Figura 3.4 – Espacialização dos teores de K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas.....	84
Figura 3.5 – Espacialização dos teores de K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn no sub-horizonte Ln da serapilheira.....	87



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Atributos químicos do solo não rizosférico nas frações com e sem adubação.....	39
Tabela 2 – Atributos químicos do solo rizosférico nas frações com e sem adubação.....	40
Tabela 3 – Comparativo entre atributos químicos do solo rizosférico e não rizosférico sem adubação.....	41
Tabela 4 – Comparativo entre atributos químicos do solo rizosférico e não rizosférico com adubação.....	42
Tabela 5 – Peso de raízes (g) nos monólitos de solo, nas diferentes categorias de diâmetro.....	43
Tabela 6 – Altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e número de verticilos vivos em plantas de <i>Pinus taeda</i> , nos diferentes tratamentos analisados.....	44
Tabela 7 – Diâmetro a altura do peito (DAP) e Área Basal das árvores dominantes e do extrato médio nos diferentes tratamentos analisados, obtidos na segunda data de coleta.....	46
Tabela 8 – Comparativo entre o peso seco de 100 acículas: primeiro e segundo lançamentos de cada coleta e nas duas datas de coleta, para cada um dos lançamentos.....	47
Tabela 9 – Teores de P, K, Ca e Mg nas acículas de 1º e 2º lançamento e no sub-horizonte Ln da serapilheira obtidos na primeira coleta, sob influência dos diferentes tratamentos.....	49
Tabela 10 – Teores de P, K, Ca e Mg nas acículas de 1º e 2º lançamento e no pendão obtidos na segunda coleta, sob influência dos diferentes tratamentos.....	50
Tabela 11 – Comparativo entre os teores de P, K, Ca e Mg nas acículas de 1º e 2º lançamento nas duas épocas de coleta.....	51
Tabela 12 – Taxa de remobilização (%) de P, K, Mg, Cu, Mn e Zn, e acúmulo de Ca, no primeiro e segundo lançamentos na primeira coleta.....	52
Tabela 13 – Teores de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas de 1º e 2º lançamento e no sub-horizonte Ln da serapilheira obtidos na primeira coleta, sob influência dos diferentes tratamentos.....	58

Tabela 14 – Teores de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas de 1º e 2º lançamento e no pendão obtidos na segunda coleta, sob influência dos diferentes tratamentos.....	59
Tabela 15 – Comparativo entre os teores de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas de 1º e 2º lançamento nas duas épocas de coleta.....	60
Tabela 16 – Relação P/Zn para acículas de primeiro e segundo lançamento, nas duas datas de coleta, sub-horizonte Ln da serapilheira e pendão.....	61

### **CAPÍTULO 3**

Tabela 1 – Estatística descritiva dos atributos dendrométricos analisados.....	79
Tabela 2 – Estatística descritiva dos atributos nutricionais das acículas de pinus.....	81
Tabela 3 – Parâmetros do semivariograma para os atributos estudados nas acículas.....	82
Tabela 4 – Teores médios de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas nos blocos avaliados no estudo de omissão de nutrientes.....	83
Tabela 5 – Estatística descritiva dos atributos nutricionais do sub-horizonte Ln da serapilheira.....	85
Tabela 6 – Parâmetros do semivariograma para os atributos estudados no sub-horizonte Ln da serapilheira.....	85
Tabela 7 – Teores médios de P, K, Ca e Mg no sub-horizonte Ln da serapilheira nos blocos avaliados.....	86
Tabela 8 – Níveis de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn no sub-horizonte Ln da serapilheira em comparação com os níveis nutricionais nas acículas.....	88
Tabela 9 – Níveis de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn no solo em comparação com os níveis nutricionais nas acículas.....	89

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
1.1. LITERATURA CITADA.....	19
<b>CAPÍTULO 2. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E QUÍMICOS EM UM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L. SOB ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES COM FONTE ALTERNATIVA DE MINERAIS PRIMÁRIOS.....</b>	<b>26</b>
<b>CHAPTER 2. EVALUATION OF DENDROMETRIC AND CHEMICAL DATA IN A <i>Pinus taeda</i> L., STAND IN A NUTRIENT OMISSION TRIAL WITH ALTERNATE BASED NUTRIENT SOURCE ON PARTICULATE MINERALS.....</b>	<b>27</b>
2.1. INTRODUÇÃO.....	28
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.2.1. COLETA DE AMOSTRAS.....	32
2.2.2. ANÁLISE DENDROMÉTRICA.....	32
2.2.3. ANÁLISE DO SOLO.....	33
2.2.4. ANÁLISE DO MATERIAL VEGETAL.....	33
2.2.5. ANÁLISE DE RAÍZES.....	33
2.2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.3.1. INTEMPERISMO DOS MINERAIS.....	34
2.3.2. AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	34
2.3.3. DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES.....	43
2.3.4. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO.....	44
2.3.5. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL.....	47
2.4. CONCLUSÕES.....	63
2.5. LITERATURA CITADA.....	63
<b>CAPÍTULO 3. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DENDROMÉTRICOS E QUÍMICOS EM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L.....</b>	<b>71</b>
<b>CHAPTER 3. SPATIAL VARIABILITY OF DENDROMETRIC AND CHEMICAL PARAMETERS IN A <i>Pinus taeda</i> L. STAND.....</b>	<b>72</b>
3.1. INTRODUÇÃO.....	73
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	74
3.2.2. COLETA DAS AMOSTRAS.....	76

3.2.3. ANÁLISE DO MATERIAL COLETADO.....	77
3.2.4. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	77
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
3.4. CONCLUSÕES.....	90
3.5. LITERATURA CITADA.....	91
<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>95</b>

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL

O plantio do pinus no Brasil teve início há mais de um século, com a introdução de diversas espécies do gênero *Pinus*, através de plantas trazidas da Europa (Shimizu, 2004). A introdução do pinus comercial no país, na década de 60, veio para suprir a necessidade da produção de madeira, especialmente em substituição à exploração de *Araucaria angustifolia*, já que as espécies do gênero atendem as características exigidas pela indústria madeireira. As condições de adaptação da espécie aos solos ácidos, que configuram extensas áreas no país, aliada a baixa exigência nutricional, permitiram a expansão da cultura no país (Kronka et al., 2005).

Dentre as espécies trazidas ao país, se destacaram o *P. taeda* e o *P. elliottii*, pelo rápido crescimento e facilidade nos tratos culturais (Shimizu, 2004). Estudos posteriores comprovaram a superioridade do *P. taeda* sobre o *P. elliottii*, em termos de crescimento e produtividade (Baldanzi, 1978), sendo esta a espécie que se destacou nos plantios da região do planalto Sul e Sudeste do Brasil, especialmente pelo seu elevado incremento volumétrico (Shimizu & Higa, 1981; Shimizu, 2004).

Devido às condições edafoclimáticas do território brasileiro, as florestas de pinus apresentam rápido crescimento e produtividade média de  $25 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$ , o que é considerado excelente em comparação com a média nos EUA, onde a cultura é nativa, que apresenta índice de apenas  $10 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$ , evidenciando a adaptação da espécie no território brasileiro (Juvenal & Mattos, 2002).

Além da escolha da espécie, é importante a determinação da origem geográfica das plantas, já que, devido à variação climática das áreas de distribuição natural, a procedência influencia na produtividade (Shimizu & Higa, 1981). Plantas de *P. taeda* originárias da Geórgia e da Flórida apresentaram maior rendimento no sul do Brasil, indicando melhor adaptação (Baldanzi, 1978).

O cultivo comercial de pinus se disseminou ao redor do mundo, totalizando 18.319.000 ha plantados (Kronka et al., 2005). Atualmente, o Brasil possui a segunda maior área plantada no mundo, ficando apenas atrás da China, com aproximadamente 1,8 milhões de hectares plantados (SBS, 2008). Cerca de 75% do plantio de pinus no país está concentrado nas regiões sul e sudeste do país, devido ao clima favorável (Juvenal & Mattos, 2002). Apenas no Paraná, são mais de 700.000 ha de povoamento, sendo este o estado com a maior área plantada (SBS, 2008). Parte bastante expressiva dos plantios de pinus concentra-se no

Segundo Planalto Paranaense, onde ocorrem solos de baixa fertilidade, notadamente aqueles derivados de arenitos (Reissmann & Wisniewski, 2000).

Durante os primeiros anos de sua instalação, as plantas do gênero *Pinus* se desenvolveram de forma aceitável mesmo em solos considerados pobres, gerando um conceito de que estas plantas poderiam dar origem a florestas altamente produtivas, sem a necessidade de manejo com fertilizantes (Simões et al., 1970). Diversos estudos foram conduzidos no sentido de buscar o aumento da produtividade das plantas do gênero *Pinus* através da fertilização, porém os resultados obtidos foram inconclusivos, e muitas vezes contraditórios (Lopes et al., 1983).

Alguns trabalhos indicam que a adubação realizada no plantio proporciona incrementos na altura e diâmetro, que resultam em maior produtividade (Simões et al., 1970; Lopes et al., 1983; Rodrigues et al., 2005), especialmente quando acompanhada de adequado suprimento hídrico (Fernandes et al., 2009). Entretanto, Muniz et al. (1975) observou efeito negativo da aplicação N no crescimento das plantas, bem como da interação da aplicação de N e K em doses elevadas, enquanto que o P teve efeito positivo.

Para Rigatto et al. (2005) a água parece ser a variável mais importante entre os fatores determinantes da produção de espécies florestais, sendo os atributos do solo que influem sobre a sua disponibilidade, densidade e porosidade do solo, os fatores que melhor se correlacionam com o crescimento em altura. Este resultado corrobora com o apresentado por Carvalho et al. (1999), que consideram a textura do solo a característica que mais influencia na capacidade produtiva dos sítios florestais devido a sua relação com a estrutura do solo, capacidade de retenção e drenagem de água e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal. Estes autores determinaram que o teor de argila no horizonte B foi a variável que mais influenciou o crescimento em altura, seguida pelo teor de Ca, matéria orgânica e pH, todos no horizonte A. Considerando que o crescimento em altura e diâmetro ocorram quase sempre simultaneamente (Machado et al., 2010), a disponibilidade de água influenciaria diretamente a produtividade dos povoamentos.

Apesar da baixa exigência nutricional considerada, em alguns casos ocorre a manifestação de sintomas visuais nas acículas e queda na produtividade, denotando problemas nutricionais, resultado de um solo cada vez mais empobrecido pela exportação de nutrientes (Reissmann & Zöttl, 1987). O teor nutricional nas acículas é resultante da combinação do suprimento externo e da absorção aliados ao crescimento da planta, sendo necessário que todos os fatores estejam adequados para o bom desenvolvimento do plantio (Dedecek et al., 2008).

Considerando que o pH do solo de parte expressiva sob povoamentos de pinus, sobretudo no Segundo Planalto paranaense, é bastante ácido, chegando a valores de 3,5 a 3,7 (Quinteros Dóldan, 1987; Wisniewski & Reissmann, 1996), é possível que um processo de acidificação e alteração mineralógica ocorra no âmbito da rizosfera. Souza e Souza (1981), comentando o trabalho de Paula Souza (1976), indicam que o produto acidificante proveniente da decomposição das acículas poderia acelerar o processo de podzolização em solo onde os povoamentos foram implantados. Estes mesmos autores concluíram que o florestamento com *Pinus eliotti* resultou em acidificação do solo, diminuição do teor de Ca + Mg e liberação de Al. Alguns trabalhos desenvolvidos em outros estados dão ciência ao processo de acidificação em áreas de restinga (Gomes et al., 2007), bem como, sob povoamentos de pinus, porém de forma ainda pouco consistente (Frascoli et al., 2000). Sendo assim, em áreas de plantio de *P. taeda* o pH pode ser afetado, causando maior, ou menor acidificação do solo.

Com as monoculturas de coníferas do gênero *Pinus* sucedendo-se em repetidas rotações, passa a existir também a formação de espessos horizontes orgânicos, distintos daqueles formados pelos resíduos das florestas nativas, ou mesmo sob povoamentos de pinus em solos de alta fertilidade, devido, principalmente, à dificuldade na decomposição do material (Valeri & Reissmann, 1989; Trevisan et al., 1987). Em longo prazo, este acúmulo pode afetar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Nos últimos anos, alguns trabalhos demonstraram que algumas condições edáficas podem ser limitantes ao desenvolvimento das plantas. Diante deste fato, e das alterações ocasionadas pelos plantios, surge a necessidade de maiores estudos sobre as características do solo e aspectos nutricionais das plantas visando a não exaustão dos sítios florestais (Brun et al., 2009).

O conhecimento do processo de ciclagem de nutrientes nas florestas plantadas é de grande valia para a manutenção da produtividade, já que o processo de derrubada das folhas e dos outros componentes das copas constitui-se num importante mecanismo de transferência da biomassa vegetal para o solo (Novais & Poggiani, 1983; Poggiani et al., 1987). Para espécies florestais, a serapilheira representa a principal fonte de nutrientes através da decomposição e da liberação dos minerais constituintes para uma posterior absorção pelas raízes das plantas, garantindo a sustentabilidade dos sistemas especialmente em ambientes limitantes (Wisniewski & Reissmann, 1996; Vezzani et al., 2001; Schumacher et al., 2003). Em função da disponibilidade de nutrientes e composição física da manta orgânica, existe uma grande quantidade de raízes finas concentradas neste horizonte, sendo a densidade superior à encontrada no solo (Bowen, 1984; Lopes et al., 2010). A contribuição da

serapilheira na nutrição varia de acordo com o nutriente avaliado, podendo fornecer mais da metade da quantidade requerida pela planta, como ocorre para o Ca (Switzer & Nelson, 1972).

Além da ciclagem dos elementos presentes na serapilheira, a liberação de nutrientes pelo intemperismo de minerais também tem grande importância na nutrição florestal. Este intemperismo resulta da circulação da água, da atividade microbiana e das plantas através do sistema radicular, atuando em processos de ordem física e/ou bioquímicos (Calvaruso et al., 2006). Em solos pobres em nutrientes e em ambientes acidificados, a fração grosseira do solo pode representar locais de absorção de nutrientes, diminuindo a escassez destes no ambiente (Koele et al., 2010). Desta forma, o estudo da mineralogia dos solos é de grande importância para determinar o potencial de fertilidade dos solos (Reatto et al., 1998). A determinação dos minerais presentes nas diferentes frações do solo possibilita quantificar a reserva de nutrientes e estimar a sua contribuição para a nutrição vegetal, auxiliando no manejo das culturas, especialmente as de ciclo longo ou perenes (Melo et al., 1995).

As plantas vasculares, principalmente as árvores com sistema radicular profundo, podem acelerar a intemperização de minerais, em comparação com plantas não-vasculares ou superfícies não-vegetadas (Andrews et al., 2008). Este efeito pode ser observado no experimento realizado por Koele & Hildebrand (2008) com mudas de *Picea abies*, cultivadas em substrato de quartzo contendo ou não fração de gnaiss com 2 a 6 mm de diâmetro. Após 23 semanas de condução do experimento, as plantas cultivadas no substrato com a presença de rocha apresentaram maior biomassa e concentração de Ca e Mg, enquanto as plantas crescidas no substrato contendo apenas quartzo se mostraram amarelecidas, indicando que a fração grosseira foi utilizada como fonte de nutrientes. Plantas anuais como arroz, soja e milho também exerceram efeito no intemperismo de rocha basáltica particulada, causado pela absorção de nutrientes através do contato com as raízes finas e pela alteração das condições do solo rizosférico, mesmo em um experimento com menos de 50 dias (Akter & Akagi, 2005).

A quantidade de minerais intemperizáveis próximos às raízes foi consideravelmente menor no experimento de Gobran et al. (1998), e a magnitude das alterações foi relativa a estabilidade dos minerais, seguindo a ordem anfíbios > plagioclásios > feldspato potássico, sendo que para o último não foram verificados efeitos da ação das raízes.

No experimento realizado por Leyval & Berthelin (1991) para avaliar o intemperismo de um tipo de mica (flogopita) pela raiz e microorganismos rizosféricos de pinus, observou-se que, próximo ao sistema radicular, as partículas de flogopita eram menores que na testemunha e já parcialmente transformada em vermiculita, mostrando a influência das raízes no



intemperismo do mineral. As raízes de pinus também aumentaram significativamente o intemperismo de biotita nos experimentos de Calvaruso et al. (2006) e Wallander (2000), que tiveram duração de 76 e 220 dias, respectivamente.

A participação dos elementos estruturais na nutrição de plantas foi demonstrada no trabalho de Wallander e Wickman (1999), onde os dados de crescimento, absorção de K e taxa de intemperização de biotita presente no solo demonstraram que plantas de *Pinus sylvestris* foram capazes de mobilizar K do mineral e utilizá-lo na sua nutrição após 33 semanas de estudo. Da mesma forma, Bakker et al. (2004) nutriram as plantas de *Pseudotsuga menziesse* e *Pinus sylvestris* através de solução nutritiva com a presença de todos os nutrientes com exceção de Ca durante 250 dias, para avaliar o intemperismo de plagioclásio e verificar o potencial de extração do elemento do mineral por estas plantas, e concluíram que a presença das plantas aumentou o grau de intemperismo do mineral e a conseqüente liberação do nutriente.

De maneira geral, as alterações causadas no solo e nos minerais ocorrem na região da rizosfera, que pode ser definida como o volume de solo influenciado pela atividade radicular (Hinsinger, 1998). A rizosfera difere do restante do solo em vários aspectos devido à interação de processos bióticos e abióticos que podem influenciar a biogeoquímica dos solos florestais, dentre eles a atividade fúngica e microbiana, e a indução das plantas através da absorção de água e nutrientes e da exsudação de compostos orgânicos (Bakker et al., 1999; Gobran et al., 1998; Turpault et al., 2005).

As alterações no pH são as modificações químicas mais documentadas na rizosfera. Os exsudatos radiculares, como os ácidos orgânicos, podem alterar o pH da rizosfera, sendo os efeitos mais proeminentes na absorção diferenciada de nitrato ou amônio, que representam 70% de todos os ânions e cátions absorvidos pelas plantas. Uma maior taxa de absorção de cátions comparada com a de ânions leva a perda de prótons e a acidificação da rizosfera, enquanto a maior taxa de absorção de ânions comparada com a de cátions leva ao consumo de  $H^+$ , além da exsudação de  $OH^-$  e  $HCO_3^-$ , que resulta no aumento do pH da rizosfera (Marschner, 1995). A acidificação da rizosfera pode ser vista como uma estratégia para a aquisição de nutrientes minerais, uma vez que o pH controla a disponibilidade de alguns nutrientes como o P e Fe, e o mesmo ocorre com a alcalinização, de maneira similar ou até superior à acidificação (Hinsinger, 1998).

A composição química da rizosfera pode ser alterada em função do transporte de nutrientes até as raízes. Segundo Hinsinger (1998), elementos como Ca e Mg, que chegam às raízes em maior quantidade do que o necessário para a absorção, tendem a se acumular,

elevando os teores da rizosfera. Em contrapartida, K e P, cuja absorção causa uma zona de depleção na superfície radicular, apresentam menor concentração na solução do solo próxima das raízes. O autor cita que em alguns estudos o oposto é verificado em função da liberação das formas não trocáveis em velocidade superior à que ocorre a absorção.

O efeito da presença de raízes no solo foi demonstrado no experimento de Gobran et al. (1998), onde o solo rizosférico de uma floresta de abetos da Noruega diferia do solo não rizosférico por apresentar maior capacidade de troca de cátions, maior acidez e quantidade de bases solúveis, assim como maior teor de P e K. A diferença entre solo não rizosférico e rizosfera foi observada também por Turpault et al. (2005) em experimento utilizando plantas de abeto, sendo que na rizosfera o pH foi menor, e a capacidade de troca de cátions, saturação por bases, teor de C orgânico e Al foram maiores.

Apesar da aparente homogeneidade características dos plantios florestais, existem variações relacionadas ao solo, topografia e tratos culturais cujo conhecimento é importante para o manejo florestal (Mello et al., 2005). A silvicultura de precisão, que pode ser definida como um conjunto de técnicas aplicáveis ao manejo florestal com o objetivo de prever o comportamento espacial e produtivo das florestas, é uma ferramenta de grande auxílio no planejamento e manutenção do plantio florestal. (Rufino et al., 2006).

Entre os fatores que interferem na produtividade dos sítios, os solos têm grande importância dentro da variabilidade da área, uma vez que variam de acordo com uma dependência espacial (Corá & Beraldo, 2006). Esta variação natural é ocasionada pelos próprios fatores de formação do solo, que devido a efeitos de relevo e da desuniformidade no intemperismo do material de origem, resultam em heterogeneidade do solo, tanto vertical como horizontalmente (Souza et al., 2004).

No segmento florestal é importante avaliar a dependência espacial entre as características dendrométricas e o meio físico, permitindo a exploração adequada das relações existentes e que podem afetar o rendimento dos povoamentos (Bognola et al., 2007). O conhecimento da variabilidade espacial é de suma importância no estudo do solo e sua capacidade produtiva, permitindo o manejo preciso das áreas agrícolas (Grego & Vieira, 2005).

Considerando a importância do estudo do povoamento visando o desenvolvimento adequado das plantas com base nas variações observadas nos sítios florestais, os objetivos do presente trabalho são:

- a) Determinar as variáveis de crescimento para estimar a qualidade do sítio florestal;

- b) Caracterizar o estado nutricional do pinus através da análise química das acículas e da serapilheira em função da adubação e da adição do mineral particulado;
- c) Determinar a composição química do solo em condição natural e após a adubação, avaliando a influência tanto no solo rizosférico como no não rizosférico;
- d) Determinar a dependência espacial dos atributos dendrométricos e químicos dos nutrientes do solo, serapilheira e da copa do pinus na área experimental.

### 1.1.LITERATURA CITADA

ANDREWS, M.Y.; AGUE, J.J. & BERNER, R.A. Weathering of soil minerals by angiosperm and gymnosperm trees. *Mineral Mag*, 72:11-14, 2008.

AKTER, M. & AKAGI, T. Effect of fine root contact on plant-induced weathering of basalt. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51:861-871, 2005.

BALDANZI, G. Experimentação com *Pinus taeda* na estação de pesquisas florestais de Rio Negro, Paraná. *Revista Floresta*, 9:5-7, 1978.

BAKKER, M.R.; DIEFFENBACH, A.; RANGER, J. Soil solution chemistry in the rhizosphere of roots of sessile oak (*Quercus petraea*) as influenced by lime. *Plant and Soil*, 209: 209-216, 1999.

BAKKER, M.R.; GEORGE, E.; TURPAULT, M.-P.; ZHANG, J.J. & ZELLER, B. Impact of Douglas-fir and Scots pine seedlings on plagioclase weathering under acidic conditions. *Plant and Soil*, 266: 247-259, 2004.

BOGNOLA, I.A.; RIBEIRO Jr., P.J.; SILVA, E.A.A. da; LINGNAU, C. & HIGA, A.R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. *Revista Floresta*, 38: 373- 385, 2007.

BOWEN, G.D. Tree Roots and the Use of Soil Nutrients. *In*: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S (eds). *Nutrition of Plantation Forests*. Academic Press, London, 1984. 516 p.

BRUN, E.J.; BRUN, F.G.K.; MEYER, E.A.; SCHUMACHER, M.V. & TRÜBY, P. Variação da acidez do solo sob plantios de *Pinus elliottii* Engelm. de diferentes idades, na região central do Rio Grande do Sul. Synergismus scientifica UTFPR, 04: 25-27, 2009.

CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.P. & FREY-KLETT, P. Root-Associated Bacteria Contribute to Mineral Weathering and to Mineral Nutrition in Trees: a Budgeting Analysis. Ap. and Env. Microbiology, 72: 1258–1266, 2006.

CARVALHO, A.P. de; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E.B. de; MACHADO, S. do A.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; FERREIRA, C.A. & BARTOSZECK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. Boletim de Pesquisa Florestal, 39:51-66, 1999.

CORÁ, J.E. & BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, 26:374-387, 2006.

DEDECEK, R.A.; FIER, I.S.N.; SPELTZ, R. & LIMA, L.C. de S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L. aos 22 anos: estado nutricional das plantas. Revista Floresta, 38:351-359, 2008.

FERNANDES, A.L.T.; FLORÊNCIO, T.M. & FARIA, M.F. Análise do desenvolvimento das espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* no cerrado do Triângulo Mineiro. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade, 2, Taubaté, 2009. Anais. Taubaté, IPABHI, 2009. p. 471-478.

FRASCOLI, A. C.; LIMA, S. do C.; LILIENFEIS, J. & WILCKE, W. Solos da Chapada Uberlândia – Uberaba (MG) – Morfologia, granulometria e pH em topossequência. Caminhos de Geografia 1: 18-26, 2000.

GOBRAN, G.R.; CLEGG, S. & COURCHESNE, F. Rhizospheric processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems. Biogeochemistry, 42: 107-120, 1998.

GOMES, F. H.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F.; SOUZA JÚNIOR, V. S. & PEREZ, X. L. O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). II – Mineralogia das Frações Silte e Argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 1581-1589, 2007.

GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.

HINSINGER, P. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in Agronomy*, 64: 225-265, 1998.

JUVENAL, T.L. & MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. *BNDES Setorial*, 16:3-30, 2002.

KOELE, N. & HILDEBRAND, E.E. The ecological significance of the coarse soil fraction for *Picea abies* (L.) Karst. seedling nutrition. *Plant Soil*, 312: 163-174, 2008.

KOELE, N.; HILDEBRAND, E.E. & SCHACK-KIRCHNER, H. Effects of weathering state of coarse-soil fragments on tree-seedling nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173: 245-251, 2010.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F. & PONCE, R.H. *A Cultura do Pinus no Brasil*. São Paulo, 160 p. 2005.

LEYVAL, C. & BERTHELIN, J. Weathering of a mica by roots and rhizospheric microorganisms of pine. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 100-106, 1991.

LOPES, M.I.M.S.; GURGEL, M.A. de O.; GARRIDO, L.M. do A.G. & MELLO, F. de A.F. de. Adubação Mineral de *Pinus oocarpa* Schiede. *Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz*, 40:585-601, 1983.

LOPES, V.G.; SCHUMACHER, M.V.; CALIL, F.N.; VIERA, M. & WITSCHORECK, R. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, 20: 569-578, 2010.

MACHADO, S. do A.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R. da; NASCIMENTO, R.G.M. QUIRINO, S.M. dos S. & TÉO, S.J. Dinâmica de crescimento de plantios jovens de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. Pesquisa Florestal Brasileira, 30:165-170, 2010.

MARSCHNER, H. Rhizosphere pH effects on phosphorus nutrition. In: FAO. Genetic manipulation of crop plants to enhance integrated nutrient management in cropping systems. 1995.

MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantio de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 19:165-167, 1995.

MELLO, J.M. de; BATISTA, J.L.F.; OLIVEIRA, M.S. de; RIBEIRO Jr., P.J. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. Cerne, 11: 113-126, 2005.

MUNIZ, P.J. da C.; BALDANZI, G. & NETTO, S.P. Ensaio de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* no sul do Brasil. Revista Floresta, 6:5-13, 1975.

NOVAIS, R.F. de F. & POGGIANI, F. Deposição de Folhas e Nutrientes em Plantações Florestais Puras e Consorciadas de *Pinus* e *Liquidambar*. IPEF, 23:57-60, 1983.

PAULA SOUZA, D.M. Alterações físicas, químicas e biológicas provocadas pela cultura do *Pinus* em alguns solos do Paraná. SCA UFP. Curitiba, 1976.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO Jr., E. & GAVA, I.C. Quantificação da deposição de folhedos em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. IPEF, 37: 21-29, 1987.

QUINTEROS-DOLDÁN, M.E. Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 119 p. Curitiba, 1987.

REATTO, A.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V., V.H.; RESENDE, M.; KER, J.C. & COSTA, L.M. Caracterização Mineralógica, potencial de reserva e sustentabilidade agrícola de alguns sítios florestais de eucalipto da região do Vale do Rio Doce (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:255-266, 1998.

REISSMANN, C.B. & ZÖTTL, H.W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito – Grupo Guatá. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, 9: 75-80, 1987.

REISSMANN, C.B. & WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V (eds.). *Nutrição e Fertilização Florestal*. 427 p, 2000.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A. & MATTOS, J.L.M de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. *Revista Árvore*, 29:701-709, 2005.

RODRIGUES, C.M.; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A. & GOMES, F. dos S. Alterações na nutrição e na produtividade do *Pinus taeda* L. provocadas pela aplicação de resíduo celulósico. *Boletim de Pesquisas Florestais*, 51:131-143, 2005.

RUFINO, T.M.C.; THIERSCH, C.R.; FERREIRA, S.O.; KANEGAE Jr., H. & FAIS, D. Uso da Geoestatística no Estudo da Relação entre Variáveis Dendrométricas de Povoamentos de *Eucalyptus sp.* e Atributos so Solo. *Ambiência*, 2:83-93, 2006.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. *Fatos e Números do Brasil Florestal*. 93 p. 2008.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; RODRIGUES, L.M. & SANTOS, E.M. dos. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, 27: 791-798, 2003.

SHIMIZU, J.Y. *Pinus* na silvicultura brasileira. *Revista da Madeira*, 83:22-28, 2004.

SHIMIZU, J.Y. & HIGA, A.R. Variação racial do *P. taeda* L. no Sul do Brasil até o sexto ano de idade. Boletim de Pesquisa Florestal, 2: 1-25, 1981.

SIMÕES, J.W.; MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J. & COUTO, H.T.Z. A adubação acelera o desenvolvimento inicial de plantações de *Pinus caribaea* var. bahamensis. IPEF, 1:59-80, 1970.

SOUZA, D.M. de P. & SOUZA, M.L. de P. Alterações provocadas pelo florestamento de *Pinus* sp. na fertilidade de solos da região da Lapa-PR. Revista Floresta, 12:36-52, 1981.

SOUZA, Z.M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. Ciência Rural, 34:1763-1771, 2004.

SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Nutrient Accumulation and Cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Plantation Ecosystems: The First Twenty Years. Soil Science Society of America – Proceedings, 36: 143-147, 1972.

TREVISAN, E.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W. & LIMA, J.M.J.C. Morfologia de horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L. em três sítios distintos. Revista do Setor de Ciências Agrárias, 9: 59-62, 1987.

TURPAULT, M.-P.; UTÉRANO, C.; BOUDOT, J.-P. & RANGER, J. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry. Plant and Soil, 275: 327-336, 2005.

VALERI, S.V. & REISSMANN, C.B. Composição da manta florestal sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba – PR. Revista Floresta, 19:55-61, 1989.

VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J. & BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:225-231, 2001.



WALLANDER, H. & WICKMAN, T. Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings. *Mycorrhiza*, 9: 25-32, 1999.

WALLANDER, H. Use of strontium isotopes and foliar K content to estimate weathering of biotite induced by pine seedling colonised by ectomycorrhizal fungi from two different soils. *Plant and Soil*, 222: 215-229, 2000.

WISNIEWSKI, C. & REISSMANN, C.B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa – PR. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 39: 435-442, 1996.

## **CAPÍTULO 2. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E QUÍMICOS EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L. SOB ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES COM FONTE ALTERNATIVA DE MINERAIS PRIMÁRIOS**

### **RESUMO**

O presente estudo teve como objetivo determinar as características dendrométricas do povoamento de pinus e caracterizar o estado nutricional através da análise química das acículas e da serapilheira em função dos tratamentos aplicados, e determinar a composição química do solo rizosférico e não rizosférico. Foram delimitadas 25 parcelas experimentais, formadas por um par de árvores dominantes. Foi feita a adubação em quatro pontos na projeção da copa em todas as plantas da parcela. Em um dos pontos de adubação da árvore central, foi enterrado um tubo rizosférico em PVC, medindo 20 X 10 cm, contendo mineral particulado, que variou de acordo com o tratamento. Os tratamentos foram: T1 – Testemunha sem adubação; T2 – Testemunha com adubação completa (N, P, K, calcário e os micronutrientes Cu, Zn e B); T3 – Adubação com N, K, calcário, micronutrientes, omissão de P e adição de apatita; T4 - Adubação com N, P, K, micronutrientes, omissão de Ca e Mg e adição de piroxênio; T5 - Adubação com N, P, calcário, micronutrientes, omissão de K e adição de feldspato. Decorridos um ano da implantação, foram coletadas acículas de primeiro e segundo lançamento, e também o pendão, em julho e setembro. Também foram coletadas amostras do sub-horizonte Ln da serapilheira e monólitos de solo até 10 cm de profundidade de onde foram extraídas as raízes e separados o solo rizosférico e não rizosférico. Também foi realizada a medição de parâmetros dendrométricos altura, diâmetro na altura do peito (DAP), peso de 100 acículas, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos. As amostras vegetais foram analisadas quimicamente em laboratório quanto aos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn, e os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias. No solo rizosférico e não rizosférico foram determinados os teores de Al, Ca, Mg, K, P, Cu, Mn, Fe e Zn além de pH, CTC, V% e SB. Os tratamentos mostraram influência sobre os atributos químicos do solo não rizosférico e também do rizosférico, porém de maneira bastante variada. A diferença entre o solo rizosférico e não rizosférico foi mais visível em condição sem adubação, e nas variáveis pH, K, C e CTC. A adubação aumentou a concentração de raízes com diâmetro superior a 2 mm, não influenciando a concentração das mais finas. Os tratamentos não influenciaram o crescimento em altura, diâmetro e número de verticilos vivos. Nas acículas, foram observados efeitos dos tratamentos apenas nos teores de P, Ca e Mn nas acículas na primeira coleta. Os teores de Ca, Mn e Fe no sub-horizonte Ln da serapilheira foram superiores aos encontrados nas acículas, enquanto para os demais nutrientes os teores foram menores.

**Termos de indexação:** Composição química, acículas, rizosfera.

## CHAPTER 2. EVALUATION OF DENDROMETRIC AND CHEMICAL DATA IN A *Pinus taeda* L., STAND IN A NUTRIENT OMISSION TRIAL WITH ALTERNATE BASED NUTRIENT SOURCE ON PARTICULATE MINERALS

### ABSTRACT

The study aimed to determine dendrometric data and nutritional status of a pine stand, performing tree mensuration, chemical analysis of needles from the crown, litter, rhizosphere and non rhizosphere soil, as well as, root biomass evaluation. The experimental lay out was established with 25 experimental units of 25 m<sup>2</sup> and 9 trees each, were two dominant trees formed the evaluation pair, distributed according to 5 treatments and 5 repetitions. Each sampling unit was isolated through a tree line and an embedded polyethylene film 30 cm depth to avoid neighboring fine roots invasion. The fertilizer application was made on 4 well defined points in the drip line in all 9 plants of each sampling unit, except on control. In one point of the central tree a rhizosphere cylinder of PVC, (20 cm x 10 cm), was buried enclosing a medium fine root ( $\leq 5$  mm), and a smaller cylinder of nylon with particulate mineral according to the treatment. The treatments were: T1 – control without fertilizer; T2 – Complete fertilization (Lime, macro- and the micronutrients Cu, Zn and B); T3 – Lime, N, K, micronutrients + apatite particulates; T4 - N, P, K, micronutrients + Pyroxene; T5 – Lime, N, P, micronutrients + feldspar. After one year, needles from the first and second flushes (june) from the last growing season, and also the flush from the actual growing season (September) were collected. Litter (Ln), and soil monoliths 20 cm x 10 cm x 10 cm, for root study and rhizosphere and non rhizosphere soil chemical characterization, were sampled for each treatment, in fertilized and non fertilized points. Trees were measured for height and diameter, number of living whorls, branch length, and 100 needle mass. The samples were chemically analyzed due its contents of P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe and Zn, and the results were submitted to variance and media comparison. In both rhizosphere and non rhizosphere soil were determined contents of Al, Ca, Mg, K, P, Cu, Mn, Fe and Zn as well as pH, CTC, V% and SB. The treatments influenced both, rhizosphere and non rhizosphere soil, however in different manner. The differences between rhizosphere and non rhizosphere soil, were more prominent in the samples of points without fertilizer, and for the variables pH, K, C and CEC. The fertilization increased roots over 2 mm in diameter, without influence on finer roots. No influence on high growth, diameter and number of living whorls were observed. In the needles, from the first sampling time (june), significant effects were observed for P, Ca and Mn. The contents of Ca, Mn and Fe in the Ln layer were higher than those recorded for the crown needles.

**Index terms:** Chemical composition, needles, rhizosphere.

## 2.1. INTRODUÇÃO

A introdução do pinus comercial no Brasil, na década de 60, veio para suprir a necessidade da produção de madeira, especialmente em substituição à exploração de *Araucaria angustifolia*. As condições de adaptação da espécie aos solos ácidos, que configuram extensas áreas no país, aliada a baixa exigência nutricional, ao rápido crescimento e alta produtividade, permitiram a expansão da cultura (Juvenal & Mattos, 2002; Kronka et al., 2005).

Durante os primeiros anos de sua instalação, as plantas do gênero *Pinus* se desenvolveram de forma aceitável mesmo em solos considerados pobres, gerando um conceito de que estas plantas poderiam dar origem a florestas altamente produtivas, sem a necessidade de manejo com fertilizantes (Simões et al., 1970). Entretanto, em alguns casos foi observada a manifestação de sintomas visuais nas acículas e queda na produtividade, denotando problemas nutricionais, resultado de um solo cada vez mais empobrecido pela exportação de nutrientes (Reissmann & Zöttl, 1987). Alguns trabalhos foram conduzidos visando o aumento da produtividade através da fertilização (Simões et al., 1970; Muniz et al., 1975; Rodrigues et al., 2005; Fernandes et al., 2009), porém os resultados são variados e muitas vezes contraditórios (Lopes et al., 1983).

Uma das principais características dos ecossistemas florestais é a formação de uma manta orgânica, denominada serapilheira, em resultado da queda de folhas e galhos, que contém grande quantidade dos nutrientes extraídos do solo pelas árvores (Pritchett, 1986). Este horizonte representa a principal fonte de nutrientes para as espécies florestais através da decomposição e da liberação dos minerais constituintes, para uma posterior absorção pelas raízes das plantas, garantindo a sustentabilidade dos sistemas especialmente em ambientes limitantes (Wisniewski & Reissmann, 1996; Schumacher et al., 2003; Vezzani et al., 2001). Em função da disponibilidade de nutrientes e composição física da manta orgânica, existe uma grande quantidade de raízes finas concentradas neste horizonte, sendo a densidade superior à encontrada nos horizontes do solo (Bowen, 1984; Lopes et al., 2010).

Além da ciclagem dos elementos presentes na serapilheira, a liberação de nutrientes pelo intemperismo de minerais também tem grande importância na nutrição florestal, especialmente em solos pobres. Este intemperismo resulta da circulação da água, da atividade microbiana e das plantas através do sistema radicular, atuando em processos de ordem física e/ou bioquímicos, sendo o efeito causado principalmente por árvores com sistema radicular profundo (Calvaruso et al., 2006; Andrews et al., 2008; Koele et al., 2010). Diversos trabalhos

demonstram a participação dos elementos estruturais na nutrição de plantas através do aumento dos teores foliares (Koele & Hildebrand, 2008) e da alteração da composição dos minerais próximos das raízes (Leyval & Berthelin 1991; Gobran et al. 1998; Wallander, 2000; Calvaruso et al. 2006).

De maneira geral, as alterações causadas no solo e nos minerais ocorrem na região da rizosfera, que pode ser definida como o volume de solo influenciado pela atividade radicular (Hinsinger, 1998). A rizosfera difere do restante do solo em vários aspectos devido à interação de processos bióticos e abióticos que podem influenciar a biogeoquímica dos solos florestais, dentre eles a atividade fúngica e microbiana, e a indução das plantas através da absorção de água e nutrientes e da exsudação de compostos orgânicos (Bakker et al., 1999; Gobran et al., 1998; Turpault et al., 2005).

As alterações no pH são as modificações químicas mais documentadas na rizosfera, devido a liberação dos exsudatos radiculares e da absorção diferenciada de cátions e ânions absorvidos pelas plantas (Marschner, 1995a; Hinsinger, 1998). A composição química da rizosfera também difere do restante do solo em função do transporte de nutrientes até as raízes, que resulta em acúmulo na rizosfera (Hinsinger, 1998). Este efeito pode ser observado nos experimentos realizados por Gobran et al. (1998) e Turpault et al. (2005), onde o solo rizosférico diferia do solo não rizosférico por apresentar menor pH e maior capacidade de troca de cátions e bases.

Com base no exposto, o presente estudo teve como objetivo determinar as características dendrométricas do povoamento, caracterizar o estado nutricional do pinus através da análise química das acículas e da serapilheira em função da adubação e da adição do mineral particulado, e determinar a composição química do solo em condição natural e após a adubação, avaliando a influência tanto no solo rizosférico como no não rizosférico.

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em junho de 2010 no município de Ponta Grossa – PR, na região de São Luíz do Purunã, na empresa Slaviero Florestal, nas coordenadas geográficas aproximadas de 25°17'45"S e 49°55'54"O, em povoamentos de *Pinus taeda* de segunda rotação com idade de seis anos. O clima da região foi classificado como Cfb segundo Köppen, e o solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições

(Figura 2.1). Cada unidade experimental abrangeu 25 m<sup>2</sup> e foi formada a partir da escolha das árvores de maior diâmetro na área. Entre as circundantes desta, foi selecionada outra árvore de diâmetro superior, constituindo um par da classe dominante (Moro et al., 2007a,b).

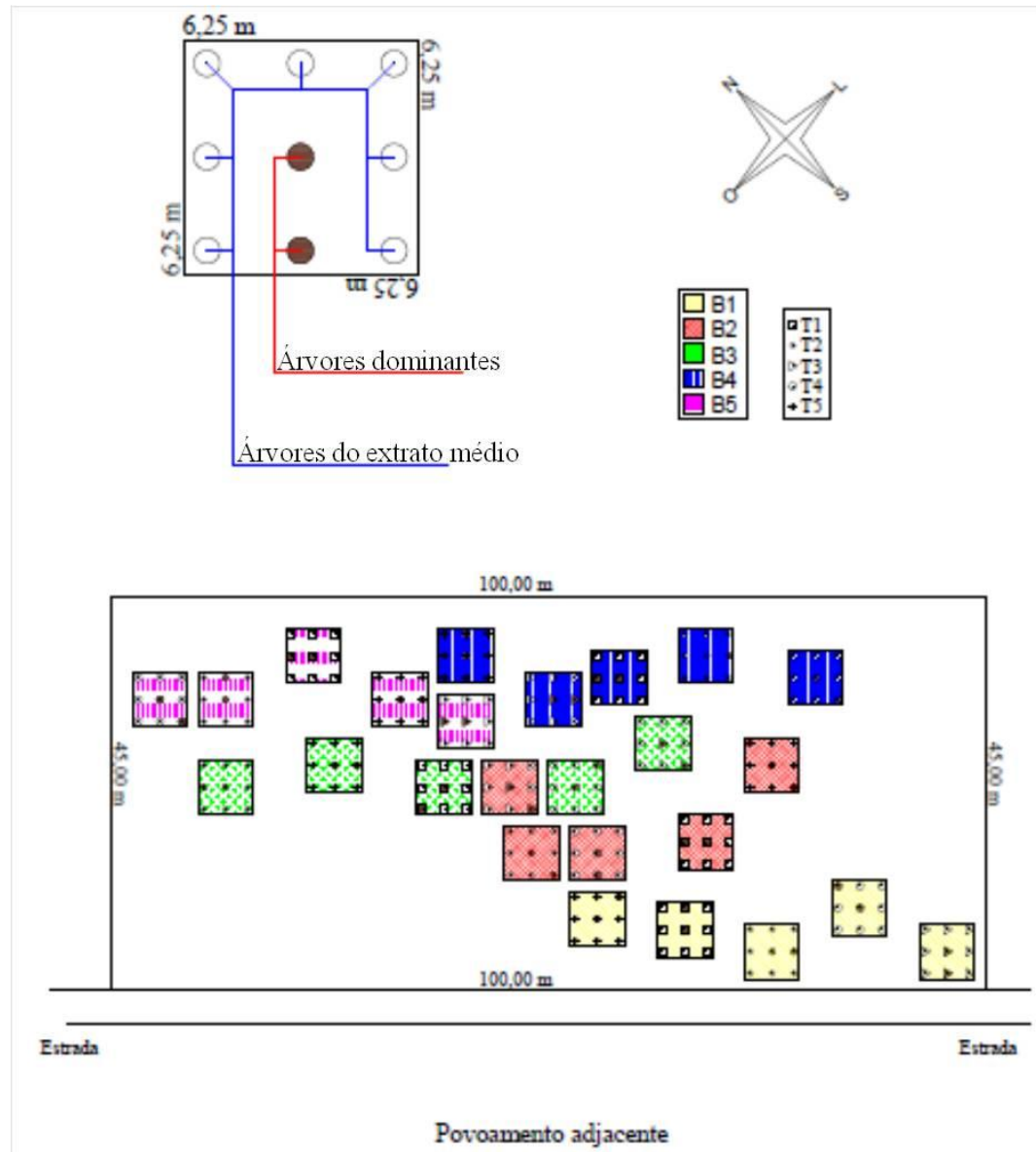


Figura 2.1. Croquis da área experimental

O diâmetro superior representa a altura dominante da área (Blum e Hildebrand, 1977), apresentando no todo do povoamento a menor variação morfológica entre indivíduos, sendo que em média o número destas árvores resulta em 100 indivíduos por hectare, aproximadamente.

Na base da árvore central de cada parcela, foi feita a adubação em quatro pontos de aplicação de 25 x 25 cm cada (0,0625m<sup>2</sup>), na projeção da copa, sendo o adubo incorporado à

20 cm de profundidade. Em um dos pontos de adubação, foi enterrado um tubo rizosférico, feito de PVC com 20 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, preenchido com solo, que foi encaixado ao redor de uma raiz com aproximadamente 5 mm de diâmetro da árvore em estudo, contendo no seu interior um cilindro de tecido em nylon de 18 cm de comprimento e aproximadamente 2 cm de diâmetro, contendo 100 g de mineral particulado, que variou de acordo com o tratamento descrito abaixo (Figura 2.2).



Figura 2.2. Tubo rizosférico contendo cilindro de nylon com mineral particulado.

Os tratamentos aplicados foram: T1 – Testemunha sem adubação; T2 – Testemunha com adubação completa (N, P, K, calcário e os micronutrientes Cu, Zn e B); T3 – Adubação com N, K, calcário, micronutrientes, omissão de P e adição de apatita; T4 - Adubação com N, P, K, micronutrientes, omissão de Ca e Mg e adição de piroxênio; T5 - Adubação com N, P, calcário, micronutrientes, omissão de K e adição de feldspato.

As árvores circundantes a do estudo receberam a mesma adubação que esta, apenas sem a inserção do tubo rizosférico contendo o mineral particulado. As doses utilizadas foram equivalentes a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K, 1300 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, 2 kg ha<sup>-1</sup> de B e 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Cu. As fontes utilizadas foram sulfato de amônio, superfosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de cobre, sulfato de zinco e ácido bórico.

Considerando a maior concentração de raízes finas, responsáveis pela absorção de nutrientes, nos primeiros 10 cm do solo (Lopes et al., 2010), foi realizado isolamento das parcelas com o uso de lonas enterradas até 30 cm de profundidade, visando diminuir o acesso das raízes de uma parcela para a outra.

### 2.2.1. COLETA DE AMOSTRAS

Decorrido um ano da implantação do experimento, em junho de 2011, procedeu-se a coleta de acículas e serapilheira. A coleta foi realizada na árvore que recebeu o tubo rizosférico e também no seu par da classe dominante. Foram coletadas acículas de primeiro e segundo lançamento de um verticilo vivo, com exposição norte. Da serapilheira foi feita a coleta apenas do sub-horizonte Ln, sendo realizada com o auxílio de gabarito medindo 25 x 25 cm (0,0625 m<sup>2</sup>) em quatro pontos na projeção da copa.

Em setembro de 2011, durante o período de crescimento da planta, foi realizada uma segunda coleta, desta vez apenas na árvore central da parcela. Foram coletadas as acículas de primeiro e segundo lançamento, e também o pendão, que é o lançamento da estação, que estava em crescimento.

Foi coletado um bloco de solo com volume de 2000 cm<sup>3</sup> com 10 cm de profundidade, em cada uma das parcelas nos pontos adubados e não adubados, para realização da análise de solo, avaliação da distribuição de raízes e das diferenças entre solo rizosférico e não rizosférico.

### 2.2.2. ANÁLISE DENDROMÉTRICA

Na primeira coleta, foi determinada a altura total das plantas com hipsômetro de Blume Leiss, o diâmetro à altura do peito (DAP) com suta e o número de verticilos vivos. Em laboratório, foi determinado o peso de 100 acículas em balança analítica de precisão.

Na ocasião da segunda coleta, foi realizada nova medição do DAP, dos pares de árvores dominantes e também das árvores do extrato médio de cada parcela, para estimativa da área basal.



### 2.2.3. ANÁLISE DO SOLO

Foi realizada análise química no solo rizosférico, obtido a partir da separação das raízes dos blocos de solo, e no solo não rizosférico separadamente. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e peneiradas posteriormente em peneira de 2 mm (TFSA). Para a realização da análise química, as amostras foram secas em estufa, à temperatura de 60°C, seguindo os procedimentos conforme a metodologia descrita por Embrapa (1997), sendo determinados pH  $\text{CaCl}_2$  0,01M; pH SMP; (H + Al), Ca, Mg; K, P e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) disponível pela extração por Mehlich I (EMBRAPA, 1997).

### 2.2.4. ANÁLISE QUÍMICA DO MATERIAL VEGETAL

A análise das acículas de 1° e 2° lançamento, pendão e do sub-horizonte Ln da serapilheira foi realizada através do mesmo procedimento, diferindo apenas na lavagem, que não foi realizada na serapilheira. O material coletado foi lavado com água desionizada, seco em estufa à 60°C e moído.

Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn foram analisados após digestão total a 500°C e solubilização com  $\text{HCl}$  3 mol  $\text{L}^{-1}$  segundo Martins e Reissmann (2007). A determinação do teor de P foi feita por colorimetria em espectrofotômetro UV/VIS, K foi determinado por fotometria de chama, e os demais elementos por absorção atômica.

Utilizando os teores dos nutrientes e o peso das 100 acículas de cada amostra, foi calculado o conteúdo de cada um dos nutrientes nas acículas e na serapilheira, com exceção do pendão.

### 2.2.5. ANÁLISE DE RAÍZES

As raízes contidas no bloco de solo foram coletadas, lavadas e separadas em categoria de tamanho com uso de paquímetro. Como não há uma convenção pré-estabelecida definindo classes de raízes em função do diâmetro (Gonçalves & Mello, 2000) foram determinadas as seguintes categorias (adaptado de Lopes et al., 2010): muito finas (< 1 mm), finas (1 – 2 mm), médias (2 – 5 mm) e grossas (> 5 mm).

Posteriormente as raízes foram secas em estufa à 60° C para determinação do peso da massa seca. Com base nos valores obtidos foi estimado o volume radicular por hectare, na profundidade de 10 cm.

### 2.2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey (5%) através do programa ASSISTAT (Silva, 2011). Os dados relativos aos teores de P no solo apresentaram heterogeneidade pelo teste de Bartlett, e foram transformados através do recurso do logaritmo para a sua análise.

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1. INTEMPERISMO DOS MINERAIS

A utilização do tubo ao redor da raiz prejudicou o equilíbrio do solo rizosférico com o restante do volume do solo. O acúmulo de exsudatos radiculares, juntamente com a diminuição das trocas gasosas e o aumento da umidade, tornou o ambiente inapropriado ao crescimento radicular (ramificação) e resultou no desenvolvimento de fungos apodrecedores, que foram caracterizados como *Fusarium sp.* e *Rhizoctonia sp.* na Clínica Fitopatológica da Universidade Federal do Paraná. Desta forma, as raízes não tiveram acesso ao mineral contido no interior do cilindro de tecido e a contribuição dos nutrientes na forma estrutural não pode ser considerada, sendo o trabalho apresentado como um ensaio de omissão de nutrientes. As ações da rizosfera foram então analisadas extra tubo em amostras pareadas de solo adubado e não adubado. Estes aspectos são discutidos no item 2.3.2.

### 2.3.2. AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A adubação promoveu redução dos componentes de acidez, sendo o pH superior nos tratamentos completo e com omissão de K (Tabela 1). Este aumento resultou em diferença entre o solo adubado e não adubado, alterando a condição inicial de pH baixo para médio (SBCS, 2004). Era esperado o aumento do pH também no tratamento com omissão de P, devido a aplicação de calcário, porém não foi observado. Em comparação com a testemunha, os teores de Al e H+Al foram menores nos mesmos tratamentos em que o pH foi superior, tendo em vista que a diminuição da acidez resulta em complexação e/ou precipitação do Al, tornando-o indisponível.

Estas alterações também se refletiram no solo rizosférico, sendo o pH superior nos tratamentos completo e com omissão de K, tanto no comparativo entre tratamentos com adubação como entre o solo adubado e não adubado (Tabela 2). Os tratamentos não resultaram em diferença estatisticamente significativa no teor de Al e H+Al no solo adubado, embora seja perceptível nos valores absolutos que ocorreu redução nos tratamentos de maior pH. A significância foi observada apenas entre o solo adubado e não adubado. Segundo Reissmann (2000), a ação de fertilizantes com reação fisiológica ácida, como o sulfato de amônio, teria participação acentuada no processo de acidificação no solo. Com base nesta informação, seria esperado que os tratamentos com adubação, especialmente aquele sem a aplicação de calcário, apresentassem pH inferior ao do tratamento testemunha, o que não foi observado.

Comparando o solo rizosférico e não rizosférico em condições naturais, sem adubação (Tabela 3), percebe-se que, de maneira geral, o pH foi menor na rizosfera e os teores de Al e H+Al foram superiores, embora a diferença não tenha sido estatisticamente significativa em todos os casos. Embora os exsudatos radiculares como os ácidos orgânicos possam alterar o pH da rizosfera, a absorção de N na forma de  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$  apresenta efeitos mais proeminentes, sendo a absorção de amônio relacionada com a extrusão de  $\text{H}^+$  e conseqüente acidificação da rizosfera (Reissmann, 2000; Malavolta, 2006). Analisando a tabela 4, percebe-se que a adubação diminuiu a influência da rizosfera nos atributos, diferindo em valores absolutos entre os dois extratos, porém não de forma significativa.

Os teores de Ca sofreram influência dos tratamentos, sendo o tratamento completo superior à testemunha (Tabela 1). Em comparação com o solo não adubado, os teores que eram inicialmente baixos foram elevados para altos no tratamento completo e médio nos demais, com exceção do tratamento com omissão de P que, mesmo tendo recebido calcário, não apresentou diferenças no teor de Ca. O mesmo foi observado para o teor de Mg, que foi superior apenas nos tratamentos completo e com omissão de K, sendo nestes casos os níveis elevados de baixos para altos. Foi observada diferença entre os tratamentos para o teor de Ca na fração não adubada, o que também foi observado em outros parâmetros analisados, e pode indicar que ocorreu interferência do ponto adubado, já que as amostras foram coletadas uma ao lado da outra, ou reflexo de variações na área. Os teores de K foram superiores nos tratamentos completo e com omissão de Ca e Mg, porém a diferença não foi estatisticamente significativa. A significância foi observada apenas entre os dois extratos do solo, adubado e não adubado, para o tratamento completo, sendo que em todos os casos os níveis encontrados foram muito baixos (SBCS, 2004). O aumento dos cátions resultou em diferença na soma de

bases e na saturação por bases, que foram superiores nos tratamentos completo e com omissão de K em relação a testemunha. O solo rizosférico apresentou a mesma tendência do solo não rizosférico quanto aos teores de Ca, Mg e K, porém as diferenças não foram estatisticamente significativas (Tabela 2). A adubação promoveu aumento da soma das bases na rizosfera apenas no tratamento completo, enquanto a saturação por bases aumentou nos tratamentos completo, com omissão de Ca e Mg e com omissão de K, em função da menor CTC observada.

Os teores de K foram superiores na rizosfera em relação ao restante do solo na condição natural, sem adubação (Tabela 3). Segundo Marschner (1995b) e Hinsinger (1998), a superfície radicular e a rizosfera apresentam menor concentração de K em relação ao restante do solo, em função do seu transporte por difusão que gera uma zona de depleção no entorno das raízes. Entretanto Bath & Nye (1973) afirmam que para o P, elemento igualmente transportado por difusão, a depleção ocorre na região do rizocilindro, enquanto que a concentração ao redor das raízes primárias tende a ser maior. Desta forma os maiores teores de K na rizosfera seriam justificados.

Para o Ca e Mg a diferença entre o solo rizosférico e não rizosférico foi menos acentuada em comparação ao K, sendo observada no tratamento com omissão de Ca e Mg para o Ca, e na testemunha para o Mg. A soma de bases foi superior na rizosfera na testemunha e tratamento com omissão de K, enquanto a saturação de bases foi inferior na rizosfera, na testemunha e tratamento completo. Assim como observado para os componentes da acidez, a adubação diminuiu a diferença entre o solo rizosférico e não rizosférico, ficando restrita à testemunha (Tabela 4).

O P foi o nutriente que apresentou os efeitos dos tratamentos de forma mais clara. Os teores nos tratamentos completo, com omissão de Ca e Mg e com omissão de K foram bastante superiores aos encontrados na testemunha e no tratamento com omissão de P. Este efeito foi observado tanto no solo não rizosférico (Tabela 1) como no solo rizosférico (Tabela 2). Os teores, em nível muito baixo nas áreas sem adubação, foram elevados a muito altos (SBCS, 2004). Estes altos teores podem ser devidos a presença de resíduos dos grânulos de adubo que permaneceram no solo. A diferença observada entre os tratamentos, no ponto não adubado, pode ser devido a uma pequena contribuição da parte adubada, como observado para o Ca. Foram observados teores superiores na rizosfera apenas nos tratamentos completo e testemunha (Tabela 3 e 4).

A aplicação dos tratamentos não alterou o valor de C e a CTC do solo, tanto para o solo rizosférico como para o não rizosférico (Tabelas 1 e 2). A adubação em si também não

resultou em alterações, tendo sido estatisticamente menor nos pontos adubados apenas no tratamento completo no solo rizosférico. O teor de C foi superior na rizosfera em comparação com o solo não rizosférico sem adubação (Tabela 3) e também no solo adubado (Tabela 4) com exceção dos tratamentos completo e com omissão de P. A rizosfera recebe quantidades apreciáveis de material orgânico do sistema radicular através da exsudação de ácidos orgânicos, mucilagens e células soltas, sendo justificado o aumento no teor de C nesta fração do solo (Malavolta, 2006; Zonta et al., 2006). O aumento da CTC acompanhou o aumento no teor de C, indicando que existe contribuição da fração orgânica na CTC total do solo. Os gráficos apresentados na figura 2.3 mostram que existe correlação positiva entre os valores de C e CTC, tanto no solo rizosférico como no não rizosférico, sendo mais significativa no solo rizosférico sem adubação.

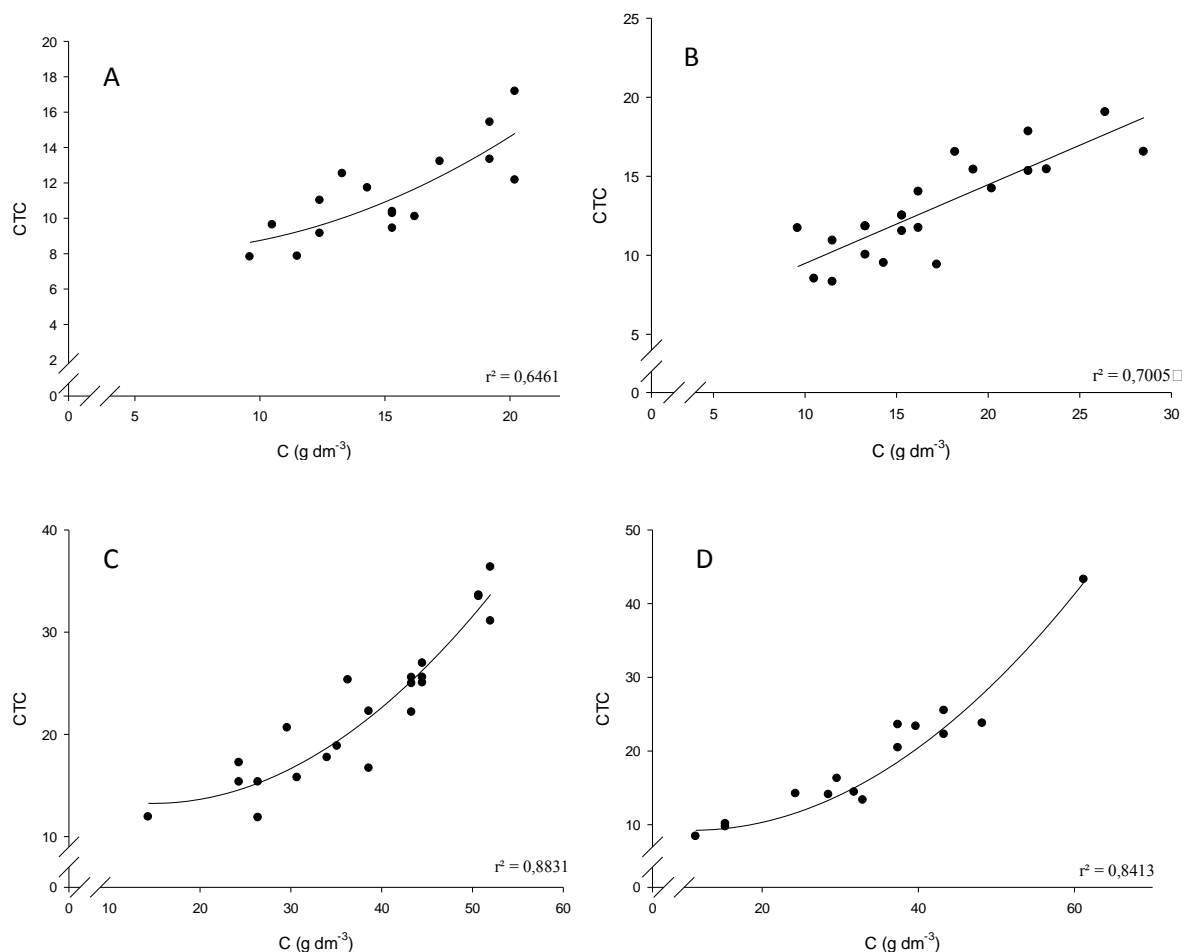


Figura 2.3. Correlação entre teor de carbono e CTC no solo não rizosférico sem adubação (A), solo não rizosférico com adubação (B), solo rizosférico sem adubação (C) e solo rizosférico com adubação (D).

Correlações significativas entre a porcentagem de carbono e a CTC total dos solos também foi verificada por Prata et al. (1996) em solos do segundo planalto paranaense, sendo a contribuição da fração orgânica na CTC total na ordem de 75% em solos de textura arenosa.

Os teores de micronutrientes detectados tiveram resultados bastante variados frente à adubação. Os teores iniciais já eram considerados altos, com exceção do Fe (SBCS, 2004). No solo não rizosférico, os tratamentos diferiram entre si quanto aos teores de Cu e Zn, em comparação com a testemunha, sendo a diferença verificada em todos os tratamentos em que os nutrientes foram aplicados, com exceção do tratamento com omissão de P (Tabela 1). Já os teores de Fe e Mn, nutrientes não fornecidos através da adubação, não foram alterados pelos tratamentos. A adubação promoveu aumento nos teores de Cu em todos os tratamentos, comparativamente com a fração não adubada, embora não tenha sido estatisticamente significativo no tratamento com omissão de P. O Zn apresentou comportamento semelhante, mas diferiu por apresentar menor teor na testemunha e tratamento com omissão de P na fração adubada. Os teores de Mn não foram alterados e os teores de Fe foram inferiores na fração adubada, no tratamento completo.

Na rizosfera, o efeito foi semelhante para os teores de Cu e Zn, porém os teores de Mn e Fe foram alterados (Tabela 2). Os teores de Mn diferiram entre o tratamento completo e com omissão de P, que apresentou os menores valores, enquanto que os teores de Fe foram superiores nos tratamentos com omissão de Ca e Mg e omissão de K. Os teores de Cu e Zn aumentaram com a adubação, exceto no tratamento com omissão de P e na testemunha, para o Zn. O teor de Mn aumentou no tratamento completo e os teores de Fe não foram alterados pela adubação.

A diferença entre solo rizosférico e não rizosférico foi pequena para os micronutrientes. Os teores de Cu e Mn não diferiram em condição natural (Tabela 3), sendo verificada a diferença para o Cu apenas na testemunha, em solo adubado (Tabela 4). Os teores de Fe na rizosfera diferiram do solo não rizosférico quando este não foi adubado, sendo que em condição de adubação a diferença ficou restrita à testemunha. Para o Zn, foi verificada diferença apenas em condição natural, sem adubação.

Tabela 1. Atributos químicos do solo não rizosférico nas frações com e sem adubação.

	pH CaCl2				pH SMP				Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )											
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado									
Testemunha	3,3	a	A	3,4	b	A	5,1	a	A	5	c	A	1,7	a	A	10,0	a	A	10,9	a	A			
Completo	3,2	a	B	5,0	a	A	4,6	a	B	6,2	ab	A	2,4	a	A	0,0	b	B	14,5	a	A	4,3	b	B
Menos P	3,2	a	A	3,6	b	A	4,8	a	A	5,2	bc	A	2,2	a	A	1,3	ab	A	12,7	a	A	9,2	ab	A
Menos Ca e Mg	3,3	a	A	3,6	b	A	5,0	a	A	5,2	bc	A	1,8	a	A	1,0	ab	A	10,7	a	A	8,9	ab	A
Menos K	3,4	a	B	5,4	a	A	5,2	a	B	6,5	a	A	1,5	a	A	0,0	b	B	9,3	a	A	3,3	b	B
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				P (mg kg <sup>-1</sup> )											
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado									
Testemunha	1,2	ab	A	1,1	b	A	0,1	a	A	0,1	b	A	0,03	a	A	0,03	a	A	5,4	b	A	5,2	b	A
Completo	1,2	a	B	4,6	a	A	0,1	a	B	2,2	a	A	0,03	a	B	0,12	a	A	5,8	b	B	381,1	a	A
Menos P	1,2	a	A	1,5	b	A	0,2	a	A	0,6	b	A	0,03	a	A	0,02	a	A	5,3	b	A	4,6	b	A
Menos Ca e Mg	1,0	bc	A	2,4	ab	A	0,1	a	A	0,1	b	A	0,03	a	A	0,20	a	A	9,8	a	B	317,1	a	A
Menos K	0,9	c	B	3,4	ab	A	0,1	a	B	1,8	a	A	0,03	a	A	0,05	a	A	10,5	a	B	291,2	a	A
	C (g dm <sup>-3</sup> )				CTC				V%				SB											
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado									
Testemunha	13,7	a	A	15,1	a	A	11,3	ab	A	12,2	a	A	11,7	a	A	10,5	b	A	1,3	ab	A	1,2	c	A
Completo	19,9	a	A	17,7	a	A	15,9	a	A	11,3	a	A	8,7	a	B	61,4	a	A	1,3	ab	B	7,0	a	A
Menos P	17,9	a	A	13,4	a	A	14,1	ab	A	11,3	a	A	10,2	a	A	20,1	b	A	1,4	a	A	2,1	bc	A
Menos Ca e Mg	17,3	a	A	16,0	a	A	11,9	ab	A	11,7	a	A	10,5	a	B	22,8	b	A	1,2	ab	A	2,8	bc	A
Menos K	15,3	a	A	13,4	a	A	10,3	b	A	8,6	a	A	10	a	B	61,6	a	A	1,0	b	B	5,3	ab	A
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )				Mn (mg kg <sup>-1</sup> )				Fe (mg kg <sup>-1</sup> )				Zn (mg kg <sup>-1</sup> )											
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado									
Testemunha	0,3	b	A	0,4	c	A	20,8	a	A	19,8	a	A	89,8	b	A	85,9	a	A	6,2	a	A	0,8	c	B
Completo	0,3	b	B	15,4	abc	A	9,4	a	A	31,7	a	A	104,4	ab	A	88,3	a	B	5,5	a	B	16,1	ab	A
Menos P	0,4	b	A	1,8	bc	A	8,7	a	A	7,6	a	A	104,3	ab	A	84,8	a	A	5,9	a	A	2,3	bc	A
Menos Ca e Mg	0,8	a	B	30,1	ab	A	14,4	a	A	15,9	a	A	90,9	b	A	104,1	a	A	1,5	b	B	16,3	a	A
Menos K	0,6	ab	B	39,8	a	A	10,3	a	A	18	a	A	120,4	a	A	94,6	a	A	1,5	b	B	23,8	a	A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 2. Atributos químicos do solo rizosférico nas frações com e sem adubação.

	pH CaCl2				pH SMP				Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado	
Testemunha	3,0	a A	3,0	b A	4,3	a A	4,2	b A	2,4	a A	2,7	a A	18,2	ab A	23,0	a A
Completo	2,6	a B	5,5	a A	3,9	a B	6,4	a A	3,4	a A	0,2	a B	29,1	a A	3,6	a B
Menos P	2,8	a A	3,4	b A	4,1	a A	4,7	ab A	3,0	a A	2,1	a A	22,0	ab A	15,5	a A
Menos Ca e Mg	3,0	a B	3,5	b A	4,5	a A	4,8	ab A	2,5	a A	2,2	a A	15,3	b A	12,5	a A
Menos K	2,9	a B	5,3	a A	4,3	a B	6,3	a A	2,8	a A	0,6	a A	17,7	ab A	4,1	a B
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				P (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado	
Testemunha	1,4	a A	1,4	a A	0,16	a A	0,2	b A	0,07	a A	0,08	a A	9,9	a A	11,5	b A
Completo	1,3	a B	5,6	a A	0,18	a B	2,7	a A	0,09	a B	0,18	a A	10,1	a B	544,5	a A
Menos P	1,2	a A	1,6	a A	0,2	a A	0,7	ab A	0,06	a A	0,06	a A	7,4	a A	5,7	b A
Menos Ca e Mg	1,2	a A	3,9	a A	0,2	a A	0,2	b A	0,06	a A	0,27	a A	13,3	a B	319,7	a A
Menos K	1,3	a A	3,1	a A	0,17	a A	1,7	ab A	0,08	a A	0,12	a A	11,6	a B	384,7	a A
	C (g dm <sup>-3</sup> )				CTC				V%				SB			
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado	
Testemunha	32,5	a A	41,5	a A	19,8	ab A	24,7	a A	8,6	a A	8,3	c A	1,6	a A	1,7	b A
Completo	48,7	a A	21,9	a B	30,6	a A	12,1	a B	5,0	b B	70,1	a A	1,5	a B	8,5	a A
Menos P	37,0	a A	30,8	a A	23,4	ab A	17,9	a A	6,3	ab A	19,2	bc A	1,4	a A	2,4	ab A
Menos Ca e Mg	32,0	a A	31,0	a A	16,8	b A	16,9	a A	9,0	a B	24,2	bc A	1,5	a A	4,4	ab A
Menos K	36,1	a A	31,8	a A	19,2	ab A	9,1	a A	8,2	ab B	48,3	ab A	1,5	a A	5,0	ab A
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )				Mn (mg kg <sup>-1</sup> )				Fe (mg kg <sup>-1</sup> )				Zn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado		Não adubado		Adubado	
Testemunha	0,4	a B	0,7	b A	20,7	a A	27,7	ab A	75,5	c A	71,6	b A	3,2	a A	2,1	b A
Completo	0,3	a B	17,7	ab A	7,8	a B	39,0	a A	62,4	c A	85,6	b A	2,5	a B	23,5	a A
Menos P	0,4	a A	1,8	ab A	12,7	a A	8,9	b A	82,8	bc A	75,7	b A	3,9	a A	3,9	b A
Menos Ca e Mg	0,5	a B	34,4	a A	17,8	a A	18,9	ab A	112,0	ab A	128,1	a A	2,5	a B	19,2	a A
Menos K	0,4	a B	45,9	a A	13,5	a A	25,3	ab A	117,2	a A	114,2	a A	3,5	a B	26,5	a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.



Tabela 3. Comparativo entre atributos químicos do solo rizosférico e não rizosférico sem adubação.

	pH CaCl2				pH SMP				Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )											
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico									
Testemunha	3,3	a	A	3,0	a	B	5,1	a	A	4,3	a	B	1,7	a	A	2,4	a	A	10	a	B	18,2	ab	A
Completo	3,2	a	A	2,6	a	B	4,6	a	A	3,9	a	B	2,4	a	B	3,4	a	A	14,5	a	B	29,1	a	A
Menos P	3,2	a	A	2,8	a	B	4,8	a	A	4,1	a	B	2,2	a	B	3,0	a	A	12,7	a	B	22,0	ab	A
Menos Ca e Mg	3,3	a	A	3,0	a	A	5,0	a	A	4,5	a	A	1,8	a	A	2,5	a	A	10,7	a	A	15,3	b	A
Menos K	3,4	a	A	2,9	a	B	5,2	a	A	4,3	a	B	1,5	a	B	2,8	a	A	9,3	a	A	17,7	ab	A
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				P (mg kg <sup>-1</sup> )											
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico									
Testemunha	1,2	ab	A	1,4	a	A	0,1	a	B	0,2	a	A	0,03	a	B	0,07	a	A	5,4	b	B	9,9	a	A
Completo	1,2	a	A	1,3	a	A	0,2	a	A	0,2	a	A	0,03	a	B	0,09	a	A	5,8	b	B	10,1	a	A
Menos P	1,2	a	A	1,2	a	A	0,2	a	A	0,2	a	A	0,03	a	A	0,06	a	A	5,3	b	A	7,4	a	A
Menos Ca e Mg	1,0	bc	B	1,2	a	A	0,1	a	A	0,2	a	A	0,03	a	B	0,06	a	A	9,8	a	A	13,3	a	A
Menos K	0,9	c	A	1,3	a	A	0,1	a	A	0,2	a	A	0,03	a	B	0,08	a	A	10,5	a	A	11,6	a	A
	C (g dm <sup>-3</sup> )				CTC				V%				SB											
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico									
Testemunha	13,7	a	B	32,5	a	A	11,3	ab	B	19,8	ab	A	11,7	a	A	8,6	a	A	1,3	ab	B	1,6	a	A
Completo	19,9	a	B	48,7	a	A	15,9	a	B	30,6	a	A	8,7	a	A	5,0	b	B	1,3	ab	A	1,5	a	A
Menos P	17,9	a	B	37,0	a	A	14,1	ab	B	23,4	ab	A	10,2	a	A	6,3	ab	B	1,4	a	A	1,4	a	A
Menos Ca e Mg	17,3	a	B	32,0	a	A	11,9	ab	A	16,8	b	A	10,5	a	A	9,0	a	A	1,2	ab	A	1,5	a	A
Menos K	15,3	a	B	36,1	a	A	10,3	b	A	19,2	ab	A	10,0	a	A	8,2	ab	A	1,0	b	B	1,5	a	A
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )				Mn (mg kg <sup>-1</sup> )				Fe (mg kg <sup>-1</sup> )				Zn (mg kg <sup>-1</sup> )											
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico									
Testemunha	0,3	b	A	0,4	a	A	20,8	a	A	20,7	a	A	89,8	b	A	75,5	c	A	6,2	a	A	3,2	a	B
Completo	0,3	b	A	0,3	a	A	9,4	a	A	7,8	a	A	104,4	ab	A	62,4	c	B	5,5	a	A	2,5	a	B
Menos P	0,4	b	A	0,4	a	A	8,7	a	A	12,7	a	A	104,3	ab	A	82,8	bc	B	5,9	a	A	3,9	a	A
Menos Ca e Mg	0,8	a	A	0,5	a	A	14,4	a	A	17,8	a	A	90,9	b	B	112,0	ab	A	1,5	b	A	2,5	a	A
Menos K	0,6	ab	A	0,4	a	A	10,3	a	A	13,5	a	A	120,4	a	A	117,2	a	A	1,5	b	A	3,5	a	A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 4. Comparativo entre atributos químicos do solo rizosférico e não rizosférico com adubação.

	pH CaCl2				pH SMP				Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico			
Testemunha	3,4	b	A	3,0	b	B	5,0	c	A	4,2	b	A	1,7	a	A	23,0	a	A
Completo	5,0	a	A	5,5	a	A	6,2	ab	A	6,4	a	A	0,0	b	A	4,3	b	A
Menos P	3,6	b	A	3,4	b	A	5,2	bc	A	4,7	ab	A	1,3	ab	A	9,2	ab	A
Menos Ca e Mg	3,6	b	A	3,5	b	A	5,2	bc	A	4,8	ab	A	1,0	ab	A	8,9	ab	B
Menos K	5,4	a	A	5,3	a	A	6,5	a	A	6,3	a	A	0,0	b	A	3,3	b	A
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				P (mg kg <sup>-1</sup> )					
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico			
Testemunha	1,1	b	B	1,4	a	A	0,1	b	B	0,2	b	A	0,03	a	B	11,5	b	A
Completo	4,6	a	A	5,6	a	A	2,2	a	A	2,7	a	A	0,12	a	A	544,5	a	A
Menos P	1,5	b	A	1,6	a	A	0,6	b	A	0,7	ab	A	0,02	a	B	5,7	b	A
Menos Ca e Mg	2,4	ab	A	3,9	a	A	0,1	b	A	0,2	b	A	0,20	a	A	319,7	a	A
Menos K	3,4	ab	A	3,1	a	A	1,8	a	A	1,7	ab	A	0,05	a	A	384,7	a	A
	C (g dm <sup>-3</sup> )				CTC				V%				SB					
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico			
Testemunha	15,1	a	B	41,5	a	A	12,2	a	A	24,7	a	A	10,5	b	A	1,7	b	A
Completo	17,7	a	A	21,9	a	A	11,3	a	A	12,1	a	A	61,4	a	A	8,5	a	A
Menos P	13,4	a	A	30,8	a	A	11,3	a	A	17,9	a	A	20,1	b	A	2,4	ab	A
Menos Ca e Mg	16,0	a	B	31,0	a	A	11,7	a	A	16,9	a	A	22,8	b	A	4,4	ab	A
Menos K	13,4	a	B	31,8	a	A	8,6	a	A	9,1	a	A	61,6	a	A	5,0	ab	A
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )				Mn (mg kg <sup>-1</sup> )				Fe (mg kg <sup>-1</sup> )				Zn (mg kg <sup>-1</sup> )					
Tratamentos	Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico		Não Rizosférico		Rizosférico			
Testemunha	0,4	c	B	0,7	b	A	19,8	a	A	27,7	ab	A	85,9	a	A	2,1	b	A
Completo	15,4	abc	A	17,7	ab	A	31,7	a	A	39,0	a	A	88,3	a	A	23,5	a	A
Menos P	1,8	bc	A	1,8	ab	A	7,6	a	A	8,9	b	A	84,8	a	A	3,9	b	A
Menos Ca e Mg	30,1	ab	A	34,4	a	A	15,9	a	A	18,9	ab	A	104,1	a	A	19,2	a	A
Menos K	39,8	a	A	45,9	a	A	18,0	a	A	25,3	ab	A	94,6	a	A	26,5	a	A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

### 2.3.3. DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES

Os dados relativos ao peso das raízes indicam que nos pontos de adubação os tratamentos influenciaram a concentração de raízes médias e grossas (Tabela 5), mas não alteraram a quantidade de raízes finas e muito finas. Gonçalves & Mello (2000) afirmam que as raízes finas são as responsáveis pela absorção de água e nutrientes, porém não delimitam a classe de diâmetro destas raízes. Era esperado um aumento da concentração de raízes nos pontos adubados, devido à maior disponibilidade de nutrientes, o que não foi observado. Sendo a serapilheira uma importante fonte de nutrientes para atender a demanda da planta, ocorrendo absorção diretamente deste ponto (Reissmann & Wisniewski, 2000), é possível que o aumento da concentração de raízes esteja ocorrendo neste horizonte, não sendo verificada no solo.

Tabela 5. Peso de raízes (g) nos monólitos de solo, nas diferentes categorias de diâmetro.

	Muito finas (< 1 mm)						Finas (1 - 2 mm)					
	Adubado			Não adubado			Adubado			Não adubado		
Testemunha	3,34	a	A	3,60	a	A	0,70	a	A	0,65	a	A
Completo	5,77	a	A	3,50	a	A	0,92	a	A	0,58	a	B
Menos P	4,05	a	A	3,80	a	A	1,05	a	A	0,59	a	A
Menos Ca e Mg	3,85	a	A	3,94	a	A	0,74	a	A	0,83	a	A
Menos K	3,74	a	A	2,81	a	A	1,19	a	A	0,62	a	A
	Médias (2 - 5 mm)						Grossas (> 5 mm)					
	Adubado			Não adubado			Adubado			Não adubado		
Testemunha	0,77	b	A	1,10	a	A	9,45	ab	A	5,50	a	A
Completo	2,20	a	A	0,91	a	B	7,13	ab	A	5,62	a	A
Menos P	1,17	ab	A	0,78	a	A	3,49	b	A	5,22	a	A
Menos Ca e Mg	1,52	ab	A	1,17	a	A	14,57	a	A	10,62	a	A
Menos K	0,42	b	A	0,67	a	A	1,34	b	B	9,32	a	A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

A maior concentração das raízes de diâmetro médio foi observada no tratamento completo, que se mostrou significativamente superior no ponto adubado em relação aquele em condição natural do solo. As menores concentrações destas raízes foram observadas na testemunha e no tratamento com omissão de K, mas não houve diferença significativa para o ponto não adubado. As raízes finas, embora não tenham diferido entre os tratamentos,

também apresentaram diferença entre o ponto adubado e não adubado, no tratamento completo, sendo maior a concentração no ponto adubado. As raízes grossas foram superiores no tratamento com omissão de Ca e Mg, porém só foi observada diferença estatística entre os pontos adubados e não adubados no tratamento com omissão de K.

Segundo Gonçalves e Mello (2000), com base no trabalho de Gonçalves (1994), sítios que apresentam solos mais férteis e com maior disponibilidade de bases e menor saturação de Al apresentam menor densidade de raízes. Este fato difere do observado no presente estudo, onde a maior concentração de raízes, no ponto adubado do tratamento completo, coincide com os maiores valores de pH e saturação de bases, e menor teor de Al. Segundo os autores, a maior densidade de raízes em locais de menor fertilidade teria efeito compensatório, permitindo exploração de maior volume de solo.

Em estudo de quantificação de raízes finas em povoamento de *Pinus taeda*, Lopes et al. (2010) observaram que a maior densidade de raízes finas (< 2,0 mm) está concentrada na serapilheira e no solo até 10 cm de profundidade. Estes autores encontraram o valor médio de 1412 kg ha<sup>-1</sup> de raízes finas na camada de 0 – 10 cm, sendo inferiores aos estimados no presente estudo, que foi em média de 2313 kg ha<sup>-1</sup>, considerando raízes muito finas e finas para possibilitar a comparação.

#### 2.3.4. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

Na Tabela 6 são apresentados os dados médios de altura, diâmetro a altura do peito (DAP) e número de verticilos vivos nas árvores de cada tratamento. Nota-se que os tratamentos não influenciaram o crescimento da planta, sendo que todos os valores não se diferenciaram estatisticamente entre si.

Tabela 6. Altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e número de verticilos vivos em plantas de *Pinus taeda*, nos diferentes tratamentos analisados.

	Altura (m)		DAP (cm)		Nº de Verticilos	
Testemunha	11,9	a	19,7	a	9,9	a
Completo	11,5	a	19,3	a	10,2	a
Menos P	11,4	a	19,3	a	10,2	a
Menos Ca e Mg	11,4	a	19,4	a	10,0	a
Menos K	11,8	a	19,0	a	11,1	a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Lopes et al. (1983) observaram efeito positivo da adição de NPK sobre o crescimento em altura e diâmetro, e também da aplicação de calcário sobre a altura, para plantas de pinus com 5 anos de idade. O mesmo foi observado por Simões et al. (1970), em plantas de 1 ano, caracterizando o P como o elemento que proporcionou maior crescimento. A adubação nos trabalhos acima citados foi realizada no plantio, o que pode ter proporcionado maior resposta das plantas. As árvores responderam positivamente à aplicação de resíduo celulósico no trabalho realizado por Rodrigues et al. (2005), com maior crescimento em altura e diâmetro, além de elevação nos teores de K, Ca e Mg nas acículas.

Com base na altura média das árvores dominantes em certa idade de referência, denominada idade índice, é possível determinar o índice de sítio, utilizado para classificar a qualidade da área em termos produtivos, podendo ser definido como a soma de todos os fatores que influenciam o crescimento da floresta (Scolforo & Machado, 1988; Reissmann & Wisniewski, 2000; Kronka et al., 2005). Com base na curva de índice apresentada por Kronka et al. (2005), para idade de referência de 25 anos, o sítio florestal do presente trabalho é classificado como III, ou seja, possui crescimento intermediário. Já utilizando como base a curva de índice desenvolvida por Quinteros-Doldán (1987), com idade de referência de 15 anos, o sítio seria classificado como nível II, de melhor qualidade para o crescimento das plantas. Esta diferença ocorre devido ao fato destas curvas serem baseadas em dados regionais e específicos de cada estudo, estando susceptíveis a variações. Este mesmo autor, avaliando o crescimento de plantas de *Pinus taeda* em sítios com diferentes características de solo, observou os melhores padrões de crescimento em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO de textura argilosa. A altura média encontrada pelo autor nestes sítios, para plantas com sete anos de idade, foi de 13,0 m, enquanto que nos piores sítios foi de 9,6 m. Os valores do presente estudo são intermediários aos por ele obtidos, reforçando o indicativo da qualidade média do sítio.

Para Rigatto et al. (2005) a capacidade produtiva das árvores em crescimento em altura e diâmetro depende das condições do solo e do ambiente, sendo muitas vezes as características físicas do solo mais determinantes do que as químicas. A disponibilidade de água parece ser a variável mais importante na produção florestal. A textura, que influencia fatores como a capacidade de retenção de água e a drenagem, pode ser considerada como a característica que mais influencia a capacidade produtiva dos sítios florestais, sendo os solos de textura argilosa os que propiciam maior crescimento (Carvalho et al., 1999). Com base na forte influência das características físicas do solo, é possível compreender a baixa resposta dos atributos dendrométricos às alterações químicas promovidas pela adubação.

O estudo de Fernandes et al. (2009), avaliando a influência da adubação e irrigação em plantio de *Pinus elliottii*, mostrou que a adição de fertilizantes sem a adição conjunta de água não resultou em diferenças significativas no crescimento em altura e diâmetro.

Através dos dados obtidos na segunda medição de DAP (Tabela 7), realizada em todas as plantas da parcela, é possível observar que a supremacia das árvores dominantes se mantém, sendo os valores obtidos significativamente superiores aos encontrados nas demais plantas da parcela, denominadas de árvores do extrato médio.

A área basal média obtida foi de 35,5 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Este valor está abaixo do apresentado por Schineider & Finger (1994), que obtiveram valores de crescimento em área basal máxima, sem desbaste, próximos a 45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> na idade de sete anos. Esta superioridade pode ser devida a diferenças na densidade da madeira, que influencia no DAP, ao número de árvores por hectare ou reflexo da qualidade inferior do sítio florestal.

Tabela 7. Diâmetro a altura do peito (DAP) e Área Basal das árvores dominantes e do extrato médio nos diferentes tratamentos analisados, obtidos na segunda data de coleta.

	DAP (cm)		Área Basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )			
	Dominantes	Extrato médio	Dominantes		Extrato médio	
Testemunha	20,5 a A	16,4 a B	3,29	a	32,99	a
Completo	20,2 a A	16,1 a B	3,21	a	32,01	a
Menos P	20,0 a A	16,2 a B	3,15	a	32,43	a
Menos Ca e Mg	20,1 a A	16,0 a B	3,18	a	31,70	a
Menos K	19,8 a A	16,2 a B	3,07	a	32,29	a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Os diferentes tratamentos aplicados não resultaram em diferenças no crescimento das acículas, sendo o peso da massa seca de 100 acículas estatisticamente igual para todos os conjuntos analisados (Tabela 8). O peso médio das acículas de primeiro lançamento, na primeira coleta, não diferiu dos valores do segundo lançamento. Já na segunda coleta, observa-se que os valores nas acículas de segundo lançamento são menores nos tratamentos testemunha, com omissão de P e omissão de Ca e Mg. A mesma diferença é obtida quando comparados os teores de segundo lançamento, nas duas datas de coleta. Possivelmente a diminuição do peso das acículas está relacionada com a translocação de nutrientes para suprir o pendão que se encontrava em pleno crescimento.

Tabela 8. Comparativo entre o peso seco de 100 acículas: primeiro e segundo lançamentos de cada coleta e nas duas datas de coleta, para cada um dos lançamentos.

Peso de 100 acículas (g)				
	1ª coleta		2ª coleta	
	1º lançamento	2º lançamento	1º lançamento	2º lançamento
Testemunha	5,0 a A	5,0 a A	6,6 a A	3,5 a B
Completo	5,3 a A	4,9 a A	6,5 a A	4,4 a A
Menos P	5,2 a A	5,3 a A	6,1 a A	3,8 a B
Menos Ca e Mg	5,4 a A	4,9 a A	5,3 a A	3,0 a B
Menos K	4,5 a A	4,8 a A	4,9 a A	4,7 a A

Peso de 100 acículas (g)				
	1º lançamento		2º lançamento	
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta
Testemunha	5,0 a B	6,6 a A	5,0 a A	3,5 a B
Completo	5,3 a A	6,5 a A	4,9 a A	4,4 a A
Menos P	5,2 a A	6,1 a A	5,3 a A	3,8 a B
Menos Ca e Mg	5,4 a A	5,3 a A	4,9 a A	3,0 a B
Menos K	4,5 a A	4,9 a A	4,8 a A	4,7 a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

### 2.3.5. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL

De maneira geral, os tratamentos não influenciaram significativamente os teores dos nutrientes nas acículas, ocorrendo diferença estatística apenas nos teores de P, Ca e Mn na primeira coleta. Avaliando os teores obtidos no primeiro lançamento da primeira coleta, observa-se que a maior parte dos nutrientes apresenta baixas concentrações. Considerando que durante os meses de maio a junho a planta apresenta características de baixo crescimento e quase repouso vegetativo (Machado et al., 2010), os teores obtidos nesta época apresentam maior estabilidade, sendo esta a época recomendada para a avaliação nutricional.

Os teores de P obtidos estão compatíveis com os relatados na literatura, onde variam de 1,0 a 2,0 g kg<sup>-1</sup> (Brum, 1980; Quinteros-Doldán, 1987; Rubilar et al., 2005; Viera & Schumacher, 2009) sendo considerados adequados para o bom desenvolvimento das plantas (Switzer e Nelson, 1972; Zöttl, 1973). Ocorreram diferenças significativas apenas nos teores do segundo lançamento na primeira coleta (Tabela 9), sendo a diferença entre o tratamento com omissão de K, com teor médio de 1,6 g kg<sup>-1</sup>, e o tratamento sem calcário, com teor médio de 1,4 g kg<sup>-1</sup>. O mesmo pode ser observado no trabalho de Martins (2011), onde os efeitos de

tratamento, decorrido um ano da instalação, foram observados apenas nos teores das acículas de segundo lançamento. A diferença observada entre os dois tratamentos não condiz com o observado para o teor de P no solo (Tabela 1), pois os teores encontrados foram igualmente altos nos dois tratamentos. Não houve diferença no tratamento com omissão de P, indicando que, possivelmente, o solo e ciclagem estão sendo suficientes para suprir as necessidades da planta. Os maiores valores foram os do primeiro lançamento, diferindo do apresentado por Viera & Schumacher (2009), que encontraram teores maiores nas acículas mais jovens, justificado pela mobilidade do elemento no tecido foliar.

Na segunda coleta, não houve diferença significativa entre os tratamentos e nem entre os lançamentos analisados (Tabela 10). Os teores encontrados estão próximos aos relatados por Martins (2011) para as acículas, sendo os teores médios de  $0,8 \text{ g kg}^{-1}$  no primeiro lançamento e  $0,6 \text{ g kg}^{-1}$  no segundo. Já para o pendão, os teores encontrados por este autor foram em média  $1,69 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo bastante superiores aos verificados no presente trabalho. Comparando os teores de P nas duas datas de coleta (Tabela 11), nota-se uma diminuição acentuada dos valores da primeira para a segunda coleta. Como a planta estava em pleno crescimento na época da segunda coleta, e dada a mobilidade do P, o observado é justificado devido à necessidade de translocação de nutrientes para o pendão, já que cerca de 60% do P utilizado para o desenvolvimento da planta é oriundo de transferência interna (Switzer & Nelson, 1972).

No sub-horizonte Ln da serapilheira (Tabela 9), os teores de P são semelhantes aos encontrados por Brum (1980) e Viera & Schumacher (2009), que obtiveram teores de  $0,4 \text{ g kg}^{-1}$  em plantio de *P. elliottii* e  $0,34 \text{ g kg}^{-1}$  em plantio de *P. taeda*, respectivamente. Assim como no presente trabalho, estes autores observaram que os teores na serapilheira eram menores do que os valores das acículas. Este resultado é esperado, pois, devida à mobilidade do P, ocorre translocação do nutriente durante a senescência da acícula, podendo esta translocação chegar a mais de 90% (Viera & Schumacher, 2009). A mobilização observada na presente investigação foi um pouco inferior ao relatado, sendo de 82,4% para o primeiro lançamento e de 79,7% para o segundo (Tabela 12). Esta mobilização foi estimada com base na relação entre o conteúdo do sub-horizonte Ln e do conteúdo das acículas. Foi observada influência dos tratamentos nos teores de P do sub-horizonte Ln, sendo o maior valor encontrado no tratamento com omissão de K, que apresentou maior teor também nas acículas, e os menores nos tratamentos completo e com omissão de P.



Tabela 9. Teores de P, K, Ca e Mg nas acículas de 1º e 2º lançamento e no sub-horizonte Ln da serapilheira obtidos na primeira coleta, sob influência dos diferentes tratamentos

Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )				Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)
Testemunha	1,80 a A	1,55 ab B	0,47 ab C	Testemunha	3,75 a A	3,68 a A	0,28 a B
Completo	1,71 a A	1,47 ab B	0,42 b C	Completo	4,10 a A	4,04 a A	0,31 a B
Menos P	1,65 a A	1,47 ab B	0,42 b C	Menos P	3,88 a A	3,92 a A	0,32 a B
Menos Ca e Mg	1,60 a A	1,40 b B	0,46 ab C	Menos Ca e Mg	3,63 a A	3,69 a A	0,27 a B
Menos K	1,80 a A	1,60 a B	0,55 a C	Menos K	3,65 a A	3,52 a A	0,30 a B

Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )				Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)
Testemunha	0,89 a B	0,74 a B	2,15 a A	Testemunha	0,55 a AB	0,64 a A	0,38 a B
Completo	0,73 ab B	0,69 a B	2,07 a A	Completo	0,46 a B	0,66 a A	0,35 a B
Menos P	0,56 ab B	0,64 a B	2,27 a A	Menos P	0,37 a A	0,56 a A	0,38 a A
Menos Ca e Mg	0,47 b B	0,57 a B	2,06 a A	Menos Ca e Mg	0,33 a B	0,52 a A	0,36 a AB
Menos K	0,55 ab B	0,53 a B	2,18 a A	Menos K	0,38 a A	0,42 a A	0,35 a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 10. Teores de P, K, Ca e Mg nas acículas de 1º e 2º lançamento e no pendão obtidos na segunda coleta, sob influência dos diferentes tratamentos

Teor de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta				Teor de K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão
Testemunha	0,68 a A	0,80 a A	0,75 a A	Testemunha	2,45 a B	2,35 a B	4,32 a A
Completo	0,66 a A	0,78 a A	0,72 a A	Completo	2,75 a B	2,77 a B	4,72 a A
Menos P	0,61 a A	0,66 a A	0,69 a A	Menos P	2,52 a B	2,40 a B	4,40 a A
Menos Ca e Mg	0,73 a A	0,81 a A	0,74 a A	Menos Ca e Mg	2,75 a B	2,60 a B	5,02 a A
Menos K	0,71 a A	0,77 a A	0,63 a A	Menos K	2,50 a B	2,50 a B	4,15 a A

Teor de Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta				Teor de Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão
Testemunha	0,35 a B	0,72 a A	0,14 a B	Testemunha	0,47 a B	0,95 a A	0,82 a AB
Completo	0,65 a A	0,94 a A	0,18 a B	Completo	0,57 a A	0,80 a A	0,74 a A
Menos P	0,51 a AB	0,95 a A	0,10 a B	Menos P	0,37 a B	0,57 a A	0,62 a A
Menos Ca e Mg	0,61 a B	1,06 a A	0,17 a C	Menos Ca e Mg	0,63 a A	1,01 a A	0,80 a A
Menos K	0,58 a AB	0,71 a A	0,15 a B	Menos K	0,51 a A	0,60 a A	0,67 a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 11. Comparativo entre os teores de P, K, Ca e Mg nas acículas de 1º e 2º lançamento nas duas épocas de coleta.

Tratamentos	Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )				Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )			
	1º lançamento		2º lançamento		1º lançamento		2º lançamento	
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta
Testemunha	1,80 a A	0,68 a B	1,55 ab A	0,80 a B	3,75 a A	2,45 a B	3,68 a A	2,35 a B
Completo	1,71 a A	0,66 a B	1,47 ab A	0,78 a B	4,10 a A	2,75 a B	4,04 a A	2,77 a B
Menos P	1,65 a A	0,61 a B	1,47 ab A	0,66 a B	3,88 a A	2,52 a B	3,92 a A	2,40 a B
Menos Ca e Mg	1,60 a A	0,73 a B	1,40 b A	0,81 a B	3,63 a A	2,75 a B	3,69 a A	2,60 a B
Menos K	1,80 a A	0,71 a B	1,60 a A	0,77 a B	3,65 a A	2,50 a B	3,52 a A	2,50 a B

Tratamentos	Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )				Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )			
	1º lançamento		2º lançamento		1º lançamento		2º lançamento	
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta
Testemunha	0,89 a A	0,35 a B	0,74 a A	0,72 a A	0,55 a A	0,47 a A	0,64 a B	0,95 a A
Completo	0,73 ab A	0,65 a A	0,69 a A	0,94 a A	0,46 a A	0,57 a A	0,66 a A	0,80 a A
Menos P	0,56 ab A	0,51 a A	0,64 a A	0,95 a A	0,37 a A	0,37 a A	0,56 a A	0,57 a A
Menos Ca e Mg	0,47 b A	0,61 a A	0,57 a B	1,06 a A	0,33 a B	0,63 a A	0,52 a B	1,01 a A
Menos K	0,55 ab A	0,58 a A	0,53 a A	0,71 a A	0,38 a A	0,51 a A	0,42 a A	0,60 a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 12. Taxa de remobilização (%) de P, K, Mg, Cu, Mn e Zn, e acúmulo de Ca, no primeiro e segundo lançamentos na primeira coleta.

P		K		Mg		Ca	
1º lanç.	2º lanç.	1º lanç.	2º lanç.	1º lanç.	2º lanç.	1º lanç.	2º lanç.
80,9	78,5	94,7	94,7	46,2	56,3	46,2	51,3
84,3	80,6	95,4	94,9	54,2	64,5	43,5	52,2
85,1	83,3	95,1	95,2	40,0	60,0	58,1	54,1
82,8	78,3	95,4	95,0	33,3	50,0	64,3	60,0
79,0	77,6	93,9	94,1	35,3	42,1	64,3	62,9

Cu		Mn		Fe		Zn	
1º lanç.	2º lanç.	1º lanç.	2º lanç.	1º lanç.	2º lanç.	1º lanç.	2º lanç.
78,5	74,8	10,0	10,0	-15,1	-34,4	59,2	65,0
78,7	69,5	25,0	11,8	32,4	12,1	67,5	64,2
77,5	76,2	15,8	20,0	25,4	21,5	64,6	71,0
80,2	71,2	0,0	-6,2	28,4	4,8	56,4	53,0
77,8	69,4	0,0	16,7	11,8	17,3	69,7	70,2

Os teores de K obtidos (Tabela 9) são inferiores aos requeridos para o bom desenvolvimento das plantas, que segundo Switzer & Nelson (1972) e Reissmann & Wisniewski (2000) é de 6,0 g kg<sup>-1</sup>. Os valores são compatíveis com os apresentados por Quinteros-Dóldan (1987) em estudo desenvolvido na mesma região do presente trabalho, e que obteve teores variando de 3,1 a 6,9 g kg<sup>-1</sup>, dependendo da qualidade do sítio analisado. Como os teores foliares estão baixos, esperava-se um aumento nos tratamentos que receberam adubação potássica. Os maiores teores de fato foram verificados no tratamento completo na primeira coleta, porém a diferença não foi estatisticamente significativa. Desta forma, não foram observados efeitos dos tratamentos, sendo estatisticamente iguais nas duas coletas e nos dois lançamentos analisados. Como os teores de K no solo eram originalmente muito baixos, e não foram alterados pela aplicação dos tratamentos, era esperado que não houvesse resposta da planta. Este fato difere do observado por Batista (2011), que trabalhando num plantio de *P. taeda* em solo arenoso e de baixa fertilidade, verificou aumento nos teores de K nas acículas de primeiro e segundo lançamento quando feita a aplicação de KCl.

Comparando os teores da segunda coleta (Tabela 10) com os obtidos por Batista (2011), nota-se que os teores são semelhantes aos obtidos pelo autor no tratamento testemunha, que foram em média de 2,5 e 2,33 g kg<sup>-1</sup> para o primeiro e segundo lançamento, respectivamente. O mesmo é válido para o pendão, onde o autor encontrou teor de 4,4 g kg<sup>-1</sup>, sendo bastante semelhante aos valores médios apresentados neste trabalho, e da mesma forma

superiores aos teores encontrados nas acículas. Avaliando as duas datas de coleta, percebe-se uma diminuição dos teores, tanto do primeiro como do segundo lançamento, da primeira para a segunda coleta (Tabela 11), indicando que o nutriente está sendo translocado das acículas para o dreno, no caso o ponto de crescimento. Este resultado é condizente com a alta mobilidade do nutriente, que foi estimada em 95% do conteúdo foliar (Tabela 12).

Da mesma forma que observado para o P, a alta mobilidade do K resultou em baixos teores no sub-horizonte Ln da serapilheira (Tabela 9). O nutriente é remobilizado durante a senescência da acícula, especialmente quando os teores na planta são baixos. Quando comparado com teores médios anuais de K na serapilheira, que variam de 1,0 até 1,7 g kg<sup>-1</sup> (Valeri & Reissmann, 1989; Schumacher et al., 2008; Viera & Schumacher, 2009), os teores do presente trabalho são inferiores. Porém, os teores obtidos estão de acordo com os observados por Viera & Schumacher (2010) em uma área de *P. taeda* de mesma idade e na mesma época de coleta do presente trabalho.

Para o desenvolvimento adequado do *Pinus taeda*, é necessário que o teor de Ca nas acículas seja de pelo menos 1,6 g kg<sup>-1</sup> (Switzer & Nelson, 1972), sendo adequada a faixa entre 1,0 e 5,0 g kg<sup>-1</sup> (Zöttl, 1973) em termos gerais para pinus. Os teores de Ca na primeira coleta ficaram todos situados abaixo de 1,0 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 9), sendo assim considerados insuficientes para o bom desenvolvimento das plantas. Estes valores podem estar relacionados com os baixos teores de Ca no solo em condição natural. Os teores normalmente encontrados em experimentos com plantas do gênero *Pinus* situam-se entre 0,8 e 4,1 g kg<sup>-1</sup>, variando de acordo com a qualidade do sítio analisado (Quinteros-Doldán, 1987; Viera & Schumacher, 2009; Rubilar et al., 2005).

Foi observada influência dos tratamentos apenas no primeiro lançamento da primeira coleta, onde foram diferenciados os valores da testemunha e do tratamento sem a aplicação de calcário (Tabela 9). A omissão de Ca resultou em diminuição dos teores do nutriente na acícula, enquanto que a testemunha apresentou os maiores teores. O mesmo foi observado por Batista (2011), que obteve teores superiores na testemunha em relação ao tratamento com adubação completa. Esta diferença é coerente com a condição natural do solo, que apresentou variação semelhante à observada nas acículas, porém não condiz com os resultados obtidos no solo adubado, onde os valores obtidos no tratamento com omissão de Ca e Mg foram superiores aos da testemunha (Tabela 1). Como a participação do solo mineral no fornecimento de Ca para plantas de pinus é pequena, e a maior contribuição é da decomposição da serapilheira (Switzer & Nelson, 1972), as plantas testemunha devem estar sendo supridas por esta fonte. O fato de os tratamentos com aplicação de Ca não resultarem

em teores superiores aos da testemunha pode ser devido à presença de outros nutrientes. A soma total dos cátions absorvidos pelas plantas é pouco afetada por variações no meio, sendo assim a diminuição ou aumento na disponibilidade de cátion resulta em maior ou menor absorção de outro. O K compete com vários cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática, principalmente com  $\text{NH}_4^+$ , Ca e Mg (Ernani et al., 2007).

Diferentemente do P e K, o Ca, que é imóvel na planta, se acumulou na serapilheira, sendo o teor no sub-horizonte Ln superior ao encontrado nas acículas (Tabela 9). A taxa de acúmulo do elemento foi em torno de 55% para os dois lançamentos. Os teores obtidos no sub-horizonte Ln foram bastante inferiores aos relatados em outros experimentos com avaliação da serapilheira em plantios de coníferas do gênero *Pinus*, estando os teores situados entre 5,0 e 10,6 g kg<sup>-1</sup> (Valeri & Reissmann, 1989; Girisha et al., 2003; Schumacher et al., 2008; Viera & Schumacher, 2010). Este fato pode estar relacionado com o baixo teor do nutriente nas acículas.

Na segunda coleta (Tabela 10) os teores não variaram, continuando abaixo do nível crítico. Estes teores são similares aos encontrados por Batista (2011) em área de estudo localizada em Jaguariaíva, onde os teores variaram de 1,06 a 0,66 g kg<sup>-1</sup> e de 1,37 a 0,77 g kg<sup>-1</sup> no primeiro e segundo lançamento, respectivamente. Os maiores teores foram encontrados no segundo lançamento, e os menores no pendão, o que é justificado pela baixa mobilidade do nutriente no tecido vegetal. De maneira geral, não houve variação entre os teores da primeira para a segunda coleta (Tabela 11), com exceção dos teores do primeiro lançamento da testemunha, que diminuiu, e do segundo lançamento no tratamento com omissão de Ca e Mg, que aumentou. Como o nutriente é imóvel na planta, não é translocado para a parte em crescimento, e com isso os teores das acículas mais velhas não se alteram.

Assim como observado para o Ca, o Mg também se encontra em teores considerados insatisfatórios para o desenvolvimento das plantas, o que seria entre 0,6 e 2,0 g kg<sup>-1</sup> (Switzer & Nelson, 1972; Zöttl, 1973; Reissmann & Wisniewski, 2000), possivelmente em função dos baixos teores na condição natural do solo. No trabalho de Quinteros-Doldán (1987) também são verificados teores baixos: 0,3 a 2,6 g kg<sup>-1</sup> no primeiro lançamento e 0,4 a 2,9 g kg<sup>-1</sup> no segundo. Chaves & Corrêa (2005) encontraram, nas acículas de plantas de *P. caribae* com adequado desenvolvimento, teores médios de 0,4 g kg<sup>-1</sup>, sendo detectados sinais de deficiência apenas quando o teor atingiu 0,1 g kg<sup>-1</sup>. Entretanto, valores nesta faixa não são comuns, sendo normalmente encontrados para a espécie teores próximos de 1,0 g kg<sup>-1</sup> (Rubilar et al., 2005; Viera & Schumacher, 2009; Londero et al., 2011).

Devido à mobilidade do elemento, que resultou em 41,8 e 54,6% de retranslocação no primeiro e segundo lançamento, respectivamente (Tabela 12), os maiores teores na primeira coleta foram encontrados no segundo lançamento, que é a parte mais jovem entre as analisadas. Este fato difere do observado por Batista (2011), que obteve os maiores teores no primeiro lançamento, quando na omissão de K. A diferença entre o segundo lançamento e a serapilheira, embora não seja estatisticamente significativa em todos os tratamentos, indica que a possibilidade da diminuição dos teores está relacionada à translocação durante a senescência. Este fato difere do observado por Reissmann & Wisniewski (2000), que constataram diferença mínima entre o teor da copa e da serapilheira, indicando uma mínima taxa de redistribuição. O mesmo comportamento não foi observado na segunda coleta, onde o teor da parte mais jovem (pendão) não diferiu das demais, da mesma forma que anteriormente observado para o P. Viera & Schumacher (2009) obtiveram resultado semelhante, sendo os teores de Mg iguais em todos os estádios fenológicos analisados, e sem um padrão de variação definido. O elemento não apresentou diferenças nos teores entre as datas de coleta.

Os tratamentos não influenciaram os teores dos micronutrientes, que foram estatisticamente iguais aos valores da testemunha para os lançamentos, serapilheira e pendão, nas duas coletas (Tabelas 13 e 14). Uma exceção ocorreu nos teores de Mn no primeiro lançamento, na primeira coleta, onde os teores do tratamento com omissão de Ca e Mg foram menores que os da testemunha. Como a disponibilidade de Mn está relacionada com maior acidez do solo, esperava-se que os menores valores fossem obtidos nos tratamentos com menor valor de pH. Porém, os valores de pH observados para o menor e o maior valor foram iguais. A diferença entre os tratamentos também não foi condizente com a variação dos teores de Mn no solo. Esta tendência não se repetiu na segunda coleta, onde os teores deste tratamento foram os maiores, embora não estatisticamente diferentes, seguindo a tendência esperada.

Os teores de Cu, Mn, Fe e Zn relatados como adequados para coníferas variam de 4 a 6 mg kg<sup>-1</sup>, 20 a 800 mg kg<sup>-1</sup>, 45 a 200 mg kg<sup>-1</sup> e 10 a 80 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Zöttl, 1973). Com base nisto, nota-se que os teores (Tabela 13) de Cu e Fe estão abaixo do recomendado, inclusive localizados na faixa de deficiência nutricional, enquanto os teores de Mn e Zn, que é considerado um dos micronutrientes mais limitantes no 2º Planalto Paranaense (Reissmann & Wisniewski, 2000), podem ser considerados adequados. Como discutido anteriormente, os níveis de micronutrientes no solo são altos, mesmo em condição natural sem adubação, não sendo a disponibilidade a causa dos baixos teores de Cu e Fe verificados nas acículas.

Os baixos teores de Cu são comumente encontrados em trabalhos com plantas do gênero *Pinus*, estando na faixa de 0,4 a 3,4 mg kg<sup>-1</sup>. Já os teores de Fe são normalmente muito maiores, variando de 59 a 118 mg kg<sup>-1</sup>. Os teores de Mn são bastante amplos, variando de 250 até 730 mg kg<sup>-1</sup> em acículas maduras. Os teores de Zn situam-se entre 9 e 33 mg kg<sup>-1</sup> (Rubilar et al., 2005; Chaves & Corrêa, 2008; Viera & Schumacher, 2009; Londero et al., 2011), sendo que teores inferiores a 20 mg kg<sup>-1</sup> pode acarretar em prejuízos no crescimento (Reissmann & Wisniewski, 2000). No estudo realizado por Quinteros-Doldán (1987), foram obtidos teores de Cu semelhantes aos do presente trabalho tanto no primeiro quanto no segundo lançamento, estando próximos ao limite inferior encontrado nos sítios mais pobres. Os teores de Mn e Zn corroboram com os teores médios obtidos por este mesmo autor, enquanto que os teores de Fe foram bastante inferiores, já que os por ele obtidos variaram de 73 a 356 mg kg<sup>-1</sup> no primeiro lançamento e de 43 a 282 mg kg<sup>-1</sup> no segundo lançamento.

Os teores dos micronutrientes na serapilheira (Tabela 13) são baixos em comparação com o encontrado por outros autores (Valeri & Reissmann, 1989; Schumacher et al., 2008; Viera & Schumacher, 2009; Viera & Schumacher, 2010; Londero et al., 2011), onde variaram de 1,3 a 4,15 mg kg<sup>-1</sup> para Cu; 439 a 3000 mg kg<sup>-1</sup> para Mn; 170 a 400 mg kg<sup>-1</sup> para Fe e 9,5 a 50 mg kg<sup>-1</sup> para Zn. Apenas para Mn e Zn os teores foram similares aos obtidos por Valeri & Reissmann (1989), que apresentaram os menores valores. Em contrapartida, os teores obtidos por Trevisan (1992) foram muito superiores aos anteriormente apresentados, sendo em média de 11,2 mg kg<sup>-1</sup> para o Cu, 850 mg kg<sup>-1</sup> para o Mn, 178 mg kg<sup>-1</sup> para o Fe e 6,5 mg kg<sup>-1</sup> para o Zn. É possível que a diferença entre os valores seja devida ao fato de o estudo deste autor ter sido feito em um povoamento de pinus em primeira rotação e o presente estudo em uma área de segunda rotação, indicando que o empobrecimento do solo está se refletindo na ciclagem de nutrientes.

Não foram obtidas diferenças entre os lançamentos na primeira coleta (Tabela 4), sendo apenas observadas entre os teores das acículas e do sub-horizonte Ln da serapilheira. O Cu, apesar de ser um elemento reconhecidamente de baixa mobilidade no tecido foliar, apresentou comportamento mais similar ao K, que possui alta mobilidade.

Não houve acúmulo de Cu na serapilheira, sendo estes teores inferiores aos encontrados nas acículas de primeiro e segundo lançamentos, indicando possível translocação do nutriente durante a senescência da acícula. Esta tendência se repete quando analisamos as diferenças entre as datas de coleta (Tabela 15) sendo os teores foliares inferiores na segunda coleta, para os dois lançamentos.



Os maiores teores apresentados no pendão em relação às acículas (Tabela 5) também indicam que está ocorrendo redistribuição do nutriente. A taxa de remobilização, obtida a partir do conteúdo foliar, confirma a mobilidade do elemento, sendo de 78,5 % nas acículas de primeiro lançamento e de 72,2% no segundo lançamento. Vieira e Schumacher (2009) também observaram mobilidade do elemento em plantas de *P. taeda* devido à diminuição da concentração nas acículas senescentes, sendo a retranslocação de 85,6% para acículas novas e 35,3% em acículas maduras. A tendência de mobilização também foi observada por Schneider (2011), com a avaliação de acículas durante o período de crescimento da planta. No trabalho de Londero et al. (2011), o Cu foi o micronutriente que apresentou menor acúmulo, seguido de B, Zn, Fe e Mn.

Segundo Amberger (1988) e Marschner (1995b), a retranslocação do Cu está intimamente relacionada com a senescência da folha, que resulta na desnaturação de proteínas e aminoácidos aos quais o elemento está ligado, tornando-o móvel no tecido. Esta remobilização ocorre geralmente quando a planta está adequadamente suprida. Pode ocorrer também em casos de deficiência, quando o sombreamento natural acelera o processo de senescência e a maior parte do Cu pode ser remobilizada.

O Zn apresentou comportamento semelhante ao Cu, porém de forma menos acentuada. De maneira geral, o teor na serapilheira foi inferior aos dos lançamentos, com exceção do tratamento com omissão de Ca e Mg, onde os teores foram iguais. Entretanto, quando avaliamos os dados de segunda coleta (Tabela 14) verificamos que o forte acúmulo no pendão, tal qual foi observado para o Cu, não ocorre. Este fato pode ser devido a menor mobilidade do nutriente, comparativamente, sendo a taxa de remobilização na ordem de 64% para os dois lançamentos. Segundo Motta et al. (2007) o Zn tem baixa redistribuição apenas em condições de carência, ocorrendo mobilidade quando a planta está bem suprida.

Apesar da mobilidade do Zn, as diferenças verificadas entre as datas de coleta não podem ser totalmente atribuídas à translocação em função do crescimento da planta, já que existem diferenças entre o peso das acículas, como mostrado anteriormente, que podem estar diluindo o conteúdo, especialmente porque esta diferença não representa um padrão de comportamento.

Tabela 13. Teores de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas de 1º e 2º lançamento e no sub-horizonte Ln da serapilheira obtidos na primeira coleta, sob influência dos diferentes tratamentos

Teor de Cu (mg kg <sup>-1</sup> )				Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)
Testemunha	2,9 a A	2,4 a A	0,9 a B	Testemunha	412 a AB	399 a B	493 a A
Completo	2,8 a A	2,2 a A	1,0 a B	Completo	370 ab B	360 a B	465 a A
Menos P	2,8 a A	2,6 a A	1,0 a B	Menos P	372 ab B	385 a B	488 a A
Menos Ca e Mg	3,0 a A	2,3 a A	1,0 a B	Menos Ca e Mg	328 b B	333 a B	493 a A
Menos K	3,0 a A	2,1 a B	0,9 a C	Menos K	334 ab B	377 a B	463 a A

Teor de Fe (mg kg <sup>-1</sup> )				Teor de Zn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Serapilheira (Ln)
Testemunha	25,2 a B	21,2 a B	39,9 a A	Testemunha	18,0 a A	22,0 a A	10,6 a B
Completo	24,8 a A	21,0 a A	27,1 a A	Completo	17,7 a A	18,2 a A	9,2 a B
Menos P	24,6 a A	23,2 a A	29,6 a A	Menos P	18,8 a AB	22,2 a A	11,4 a B
Menos Ca e Mg	25,6 a A	21,6 a A	29,3 a A	Menos Ca e Mg	18,3 a A	19,2 a A	13,2 a A
Menos K	21,6 a A	21,2 a A	26,5 a A	Menos K	20,9 a A	20,6 a A	8,9 a B

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 14. Teores de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas de 1º e 2º lançamento e no pendão obtidos na segunda coleta, sob influência dos diferentes tratamentos

Teor de Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta				Teor de Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão
Testemunha	1,1 a B	1,8 a B	7,7 a A	Testemunha	327 a B	552 a A	260 a B
Completo	1,5 a B	1,5 a B	5,2 a A	Completo	405 a AB	541 a A	266 a B
Menos P	1,4 a B	1,4 a B	4,7 a A	Menos P	372 a AB	516 a A	230 a B
Menos Ca e Mg	1,5 a B	2,1 a B	5,8 a A	Menos Ca e Mg	429 a B	587 a A	269 a C
Menos K	1,5 a B	1,5 a B	4,9 a A	Menos K	368 a AB	489 a A	259 a B

Teor de Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta				Teor de Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas acículas 2ª coleta			
Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão	Tratamentos	1º lançamento	2º lançamento	Pendão
Testemunha	35,7 a B	63,1 a A	27,4 a B	Testemunha	13,7 a B	19,7 a AB	28,3 a A
Completo	35,3 a B	47,1 a A	25,7 a B	Completo	14,8 a B	18,9 a AB	29,2 a A
Menos P	37,4 a B	58,2 a A	23,4 a C	Menos P	13,6 a B	17,3 a B	26,8 a A
Menos Ca e Mg	37,7 a B	58,8 a A	24,6 a C	Menos Ca e Mg	16,4 a A	39,2 a A	32,5 a A
Menos K	39,4 a AB	49,0 a A	28,7 a B	Menos K	16,5 a B	17,2 a B	28,5 a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Tabela 15. Comparativo entre os teores de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas de 1º e 2º lançamento nas duas épocas de coleta.

Teor de Cu (mg kg <sup>-1</sup> )					Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	1º lançamento		2º lançamento		1º lançamento		2º lançamento	
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta
Testemunha	2,9 a A	1,1 a B	2,4 a A	1,8 a B	412 a A	327 a B	399 a B	552 a A
Completo	2,8 a A	1,5 a B	2,2 a A	1,5 a B	370 ab A	405 a A	360 a B	541 a A
Menos P	2,8 a A	1,4 a B	2,6 a A	1,4 a B	372 ab A	372 a A	385 a B	516 a A
Menos Ca e Mg	3,0 a A	1,5 a B	2,3 a A	2,1 a A	328 b B	429 a A	333 a B	587 a A
Menos K	3,0 a A	1,5 a B	2,1 a A	1,5 a B	334 ab A	368 a A	377 a B	489 a A

Teor de Fe (mg kg <sup>-1</sup> )					Teor de Zn (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tratamentos	1º lançamento		2º lançamento		1º lançamento		2º lançamento	
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta
Testemunha	25,2 a B	35,7 a A	21,2 a B	63,1 a A	18,9 a A	13,7 a B	22,0 a A	19,7 a A
Completo	24,8 a B	35,3 a A	21,0 a B	47,1 a A	17,7 a A	14,8 a A	18,2 a A	18,9 a A
Menos P	24,6 a B	37,4 a A	23,2 a B	58,2 a A	18,8 a A	13,6 a B	22,2 a A	17,3 a A
Menos Ca e Mg	25,6 a B	37,7 a A	21,6 a B	58,8 a A	18,3 a A	16,4 a A	19,2 a B	39,2 a A
Menos K	21,6 a B	39,4 a A	21,2 a B	49,0 a A	20,9 a A	16,5 a A	20,6 a A	17,2 a A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Classificação com letras minúsculas entre linhas de uma mesma coluna e letras maiúsculas entre colunas.

Considerando que os dois elementos se encontram em teores adequados, a relação P/Zn pode fornecer informações interessantes a respeito do comportamento e da mobilidade do Zn no tecido foliar. Como pode ser observado na tabela 16, os valores de relação são altos, especialmente na primeira coleta. Estes valores são compatíveis com aqueles encontrados em sítios de classe III a V (Reissmann & Wisniewski, 2000), ou seja, sítios de menor qualidade para o desenvolvimento das árvores. Segundo os mesmos autores, existe uma forte correlação negativa desta relação com o crescimento em altura, sendo o mesmo observado por Dedecek et al. (2008). No presente trabalho os dados não apresentaram correlação. Como discutido anteriormente, a translocação do P resulta em diminuição dos seus teores na serapilheira e nas acículas na segunda coleta, o que reflete em diminuição da relação P/Zn tendo em vista que a dinâmica de redistribuição do Zn é menor nas plantas de *Pinus taeda* (Reissmann & Wisniewski, 2000).

Tabela 16. Relação P/Zn para acículas de primeiro e segundo lançamento, nas duas datas de coleta, sub-horizonte Ln da serapilheira e pendão.

Tratamentos	Relação P/Zn					
	1ª coleta			2ª coleta		
	1º lanç.	2º lanç.	Ln	1º lanç.	2º lanç.	Pendão
Testemunha	95,2	70,5	44,3	49,6	40,7	26,5
Completo	96,6	80,7	45,8	44,5	41,2	24,7
Menos P	87,8	66,3	36,9	44,7	38,2	25,7
Menos Ca e Mg	87,4	73,0	34,8	44,4	20,7	22,8
Menos K	86,1	77,5	61,5	43,0	44,6	22,1

Diferindo do observado para Cu e Zn, o Fe apresentou baixa mobilidade no tecido foliar, sendo a remobilização calculada de 24,5 e 13,9% no primeiro e segundo lançamento, respectivamente. Também não foi observado acúmulo na serapilheira bem como concentração nas acículas, sendo os teores iguais em todas as partes analisadas. Este resultado não era esperado, uma vez que o Fe é considerado imóvel no tecido foliar (Marschner, 1995b). É possível que a taxa de remobilização positiva seja resultado de alterações causadas pela derrubada de acículas de outras árvores, que não as de estudo, no material coletado na serapilheira, o que acabou influenciando o resultado.

O tratamento testemunha, que apresentou os maiores teores na serapilheira, indica o acúmulo do nutriente, o que é confirmado pela taxa de remobilização negativa. Na segunda coleta, o Fe apresenta comportamento semelhante ao do Ca, sendo observados os maiores

teores no segundo lançamento e baixos teores no pendão, o que reflete a pequena redistribuição a qual o elemento está sujeito. Entretanto, a diferença entre os dois lançamentos analisados pode ser devida a um efeito de diluição, já que as acículas de segundo lançamento são menores que as do primeiro. Apesar do predomínio da remobilização nos tratamentos, o comparativo entre as épocas de coleta aponta os maiores teores na segunda coleta, comportamento este que indica acúmulo no tecido foliar.

O Mn é o micronutriente de menor mobilidade em plantas de *P. taeda* (Londero et al., 2011). O efeito disto pode ser observado na diferença significativa entre os teores dos lançamentos e do sub-horizonte Ln da serapilheira na primeira coleta. Entretanto, a taxa de remobilização, mesmo que baixa (10,2 e 14,6%), contesta este acúmulo, indicando que a diminuição nos teores das acículas está possivelmente relacionada com um efeito de diluição causado pelo maior crescimento das acículas em relação aos teores absorvidos. Estes dados diferem do encontrado por Viera & Schumacher (2009), que verificaram efeito acumulativo do Mn devido aos altos valores de remobilização negativos. No presente estudo, apenas no tratamento com omissão de Ca e Mg, que apresentou os menores teores de Mn, foi observado efeito de acúmulo do nutriente.

Na segunda coleta, maiores teores foram encontrados no segundo lançamento e os menores no pendão, reforçando a baixa mobilidade do elemento. Novamente, a diferença quando ao primeiro lançamento pode ser devida ao efeito de diluição no tecido. Resultado semelhante foi observado por Schneider (2011), que obteve os maiores teores de Mn nas acículas do segundo lançamento. Da mesma forma que para os lançamentos, as diferenças verificadas entre as datas de coleta são causadas por efeito de diluição, já que as acículas na segunda coleta se mostraram menores.

Com exceção dos teores de P, Mn e Zn, os demais nutrientes estão situados em faixas de concentração consideradas insatisfatórias para o desenvolvimento adequado das plantas. Apesar disto, não são verificados sintomas de deficiência ou prejuízos no crescimento, indicando que estes níveis poderiam estar superestimados. Entretanto, estes níveis devem ser respeitados considerando que sua determinação é feita com base em vários estudos, utilizando plantas nas mais variadas condições. As árvores do presente estudo contam com sete anos de idade e, caso mantenham os mesmos teores nas acículas, é possível que venham a demonstrar os efeitos da carência nutricional próximo à idade de 15 anos, na época de desbaste.

## 2.4. CONCLUSÕES

Os tratamentos mostraram influência sobre os atributos químicos do solo não rizosférico, de forma bastante variada, com exceção dos teores de K, Mn, Fe, C e a CTC, que não sofreram alterações. Da mesma forma no solo rizosférico, foram observadas variações nos atributos com exceção do teor de Al, H+Al, Ca, K, C e CTC. A diferença entre o solo rizosférico e não rizosférico foi mais visível em condição sem adubação, e nas variáveis pH, K, C e CTC.

A adubação propiciou aumento na concentração de raízes com diâmetro superior a 2 mm, sem influenciar a concentração das raízes mais finas.

Os tratamentos não influenciaram os atributos dendrométricos crescimento em altura, diâmetro e número de verticilos vivos. Os valores obtidos indicam que o desenvolvimento está de acordo com um índice de sítio médio.

Os teores dos nutrientes nas acículas são considerados insatisfatórios para o desenvolvimento adequado das plantas, com exceção dos teores de P, Mn e Zn que são considerados adequados. Foram observados efeitos dos tratamentos apenas nos teores de P, Ca e Mn nas acículas na primeira coleta. Os teores de Ca, Mn e Fe no sub-horizonte Ln da serapilheira foram superiores aos encontrados nas acículas devido à baixa mobilidade dos elementos no tecido foliar, enquanto para os demais nutrientes os teores foram menores.

## 2.5. LITERATURA CITADA

ANDREWS, M.Y.; AGUE, J.J. & BERNER, R.A. Weathering of soil minerals by angiosperm and gymnosperm trees. *Mineralogical Magazine*, 72:11-14, 2008.

AMBERGER, A. Pflanzenernährung. Ökologische und physiologische Grundlagen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. 1988. 264 p.

BAKKER, M.R.; DIEFFENBACH, A.; RANGER, J. Soil solution chemistry in the rhizosphere of roots of sessile oak (*Quercus petraea*) as influenced by lime. *Plant and Soil*, 209: 209-216, 1999.

BATISTA, A.H. Influência da calagem e adubação na acidez do solo e ciclagem de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  em plantios de *Pinus taeda* L. no pólo florestal de Jaguariaíva-PR. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. 40 p. Curitiba, 2011.

BHAT, K.K.S. & NYE, P.H. Diffusion of phosphate to plant roots in soil. I. Quantitative autoradiography of the depletion zone. *Plant and Soil*, 38:161-175, 1973.

BLUM, W.E.H. & HILDEBRAND, E.E. Näherelementversorgung und wachstum von *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., auf zwei toposequenzen in Paraná/Suedbrasilien. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch*, 25: 357-366, 1977.

BOWEN, G.D. Tree Roots and the Use of Soil Nutrients. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S (eds). *Nutrition of Plantation Forests*. Academic Press, London, 1984. 516 p.

BRUM, E. Composição química de acículas verdes e da liteira de *Pinus elliottii* Engelm. *Revista Floresta*, 11: 17-23, 1980.

CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.P. & FREY-KLETT, P. Root-Associated Bacteria Contribute to Mineral Weathering and to Mineral Nutrition in Trees: a Budgeting Analysis. *Ap. and Env. Microbiology*, 72: 1258–1266, 2006.

CARVALHO, A.P. de; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E.B. de; MACHADO, S. do A.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; FERREIRA, C.A. & BARTOSZECK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 39:51-66, 1999.

CHAVES, R.Q. & CORRÊA, G.F. Macronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. *Revista Árvore*, 29:691-700, 2005.

DEDECEK, R.A.; FIER, I.S.N.; SPELTZ, R. & LIMA, L.C. de S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L. aos 22 anos: estado nutricional das plantas. *Revista Floresta*, 38:351-359, 2008.



EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª edição. Rio de Janeiro. 1997.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. de & SANTOS, F.C. dos. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (eds.). Fertilidade do Solo. SBCS: Viçosa, 2007. 1017 p.

FERNANDES, A.L.T.; FLORÊNCIO, T.M. & FARIA, M.F. Análise do desenvolvimento das espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* no cerrado do Triângulo Mineiro. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade, 2, Taubaté, 2009. Anais. Taubaté, IPABHI, 2009. p. 471-478.

GIRISHA, G.K.; CONDRON, L.M.; CLINTON, P.W. & DAVIS, M.R. Decomposition and nutrient dynamics of Green and freshly fallen radiate pine (*Pinus radiata*) needles. Forest Ecology and Management, 179: 169-181, 2003.

GOBRAN, G.R.; CLEGG, S. & COURCHESNE, F. Rhizospheric processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems. Biogeochemistry, 42: 107-120, 1998.

GONÇALVES, J.L. de M. & MELLO, S.L. de M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V (eds.). Nutrição e Fertilização Florestal. 427 p, 2000.

GONÇALVES, J.L.M. Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas. Tese (Livre docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”. 84 p. Piracicaba, 1994.

HINSINGER, P. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. Advances in Agronomy, 64: 225-265, 1998.

JUVENAL, T.L. & MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. BNDES Setorial, 16:3-30, 2002.

KOELE, N. & HILDEBRAND, E.E. The ecological significance of the coarse soil fraction for *Picea abies* (L.) Karst. seedling nutrition. *Plant Soil*, 312: 163-174, 2008.

KOELE, N.; HILDEBRAND, E.E. & SCHACK-KIRCHNER, H. Effects of weathering state of coarse-soil fragments on tree-seedling nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173: 245-251, 2010.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F. & PONCE, R.H. *A Cultura do Pinus no Brasil*. São Paulo, 160 p. 2005.

LEYVAL, C. & BERTHELIN, J. Weathering of a mica by roots and rhizospheric microorganisms of pine. *Soil Sci. Soc. of Am. Journal*, 55: 100-106, 1991.

LONDERO, E.K.; SCHUMACHER, M.V.; SZYMCZAK, D.A. & VIERA, M. Exportação e reposição nutricional no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* em área de segunda rotação. *Ciência Florestal*, 21:487-497, 2011.

LOPES, M.I.M.S.; GURGEL, M.A. de O.; GARRIDO, L.M. do A.G. & MELLO, F. de A.F. de. Adubação Mineral de *Pinus oocarpa* Schiede. *Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz*, 40:585-601, 1983.

LOPES, V.G.; SCHUMACHER, M.V.; CALIL, F.N.; VIERA, M. & WITSCHORECK, R. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, 20: 569-578, 2010.

MACHADO, S. do A.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R. da; NASCIMENTO, R.G.M. QUIRINO, S.M. dos S. & TÉO, S.J. Dinâmica de crescimento de plantios jovens de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30:165-170, 2010.

MALAVOLTA, E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. Ceres, São Paulo, 638 p. 2006.

MARSCHNER, H. Rhizosphere pH effects on phosphorus nutrition. In: FAO. Genetic manipulation of crop plants to enhance integrated nutrient management in cropping systems. 1995a.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 1995b. 889 p.

MARTINS, A.P. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agrária*, 8,1: 1-17, 2007.

MARTINS, I.L. Análise nutricional do P em um povoamento de *Pinus taeda* L., submetido a um ensaio de omissão de nutrientes. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. 91 p. Curitiba, 2011.

MORO, L.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da & REISSMANN, C.B. Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS. *Revista Floresta*, 38: 465-477, 2007a.

MORO, L.; REISSMANN, C.B.; SILVA, H.D. da; FERREIRA, C.A. LAVORANTI, O.J. Modelos matemáticos para estimativa da exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. *Revista Floresta*, 37:223-230, 2007b.

MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B.; REISSMANN, C.B. & DIONÍSIO, J.A. Micronutrientes na rocha, no solo e na planta. 246 p. 2007.

MUNIZ, P.J. da C.; BALDANZI, G. & NETTO, S.P. Ensaio de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* no sul do Brasil. *Revista Floresta*, 6:5-13, 1975.

PRATA, F.; HIKISHIMA, M.; SANTOS FILHO, A. & MOTTA, A.C.V. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions em solos do Estado do Paraná. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, 15: 69-74, 1996.

PRITCHETT, W.L. Suelos Forestales. 1.ed. México, Limusa, 1986. 634 p.

QUINTEROS-DOLDÁN, M.E. Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 119 p. Curitiba, 1987.

REISSMANN, C.B. & ZÖTTL, H.W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito – Grupo Guatá. Revista do Setor de Ciências Agrárias, 9: 75-80, 1987.

REISSMANN, C.B. Efeito de diferentes formas e níveis de fertilizantes nitrogenados na rizosfera e composição química de mudas de *Abies iraseri* com ênfase em Fe, Mn, Cu e Zn. Tese (Professor titular de Nutrição de Plantas – Essências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. 129 p. Curitiba, 2000.

REISSMANN, C.B. & WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V (eds.). Nutrição e Fertilização Florestal. 427 p, 2000.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A. & MATTOS, J.L.M de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. Revista Árvore, 29:701-709, 2005.

RODRIGUES, C.M.; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A. & GOMES, F. dos S. Alterações na nutrição e na produtividade do *Pinus taeda* L. provocadas pela aplicação de resíduo celulósico. Boletim de Pesquisas Florestais, 51:131-143, 2005.

RUBILAR, R.A.; ALLEN, H.L. & KELTING, D.L. Comparsion of biomass and nutrient content equations for successive rotations of loblolly pine plantations on an Upper Coastal Plain Site. Biomass and Bioenergy, 28: 548-564, 2005.

SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL. Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10ª edição, Porto Alegre, 2004. 400 p.

SCHNEIDER, T. Crescimento e teores de B, Cu, Mn, Fe e Zn em *Pinus taeda* L. como resultado da adubação e calagem sob a técnica da omissão de nutrientes. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. 51 p. Curitiba, 2011.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; RODRIGUES, L.M. & SANTOS, E.M. dos. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, 27: 791-798, 2003.

SCHUMACHER, M.V.; VIERA, M. & WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no Município de Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, 18: 471-480, 2008.

SCOLFORO, J.R.S. & MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina. *Revista Floresta*, 18:140-158, 1988.

SILVA, F. de A. S. e. ASSISTAT Versão 7.6 beta. Campina Grande, 2011.

SIMÕES, J.W.; MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J. & COUTO, H.T.Z. A adubação acelera o desenvolvimento inicial de plantações de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. *IPEF*, 1:59-80, 1970.

SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Nutrient Accumulation and Cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Plantation Ecosystems: The First Twenty Years. *Soil Science Society of America – Proceedings*, 36: 143-147, 1972.

TURPAULT, M.-P.; UTÉRANO, C.; BOUDOT, J.-P. & RANGER, J. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry. *Plant and Soil*, 275: 327-336, 2005.

VALERI, S.V. & REISSMANN, C.B. Composição da manta florestal sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba – PR. *Revista Floresta*, 19:55-61, 1989.

VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J. & BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:225-231, 2001.

VIERA, M. & SCHUMACHER, M.V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L. *Ciência Florestal*, 19:375-382, 2009.

VIERA, M. & SCHUMACHER, M.V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e a pluviosidade. Revista Árvore, 34:85-94, 2010.

WALLANDER, H. Use of strontium isotopes and foliar K content to estimate weathering of biotite induced by pine seedling colonised by ectomycorrhizal fungi from two different soils. Plant and Soil, 222: 215-229, 2000.

WISNIEWSKI, C. & REISSMANN, C.B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa – PR. Arquivos de Biologia e Tecnologia, 39: 435-442, 1996.

ZONTA, E.; BRASIL, F. da C.; GOI, S.R. & ROSA, M.M.T. da. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S.(ed.). Nutrição Mineral de Plantas. SBCS: Viçosa, 2006. 432 p.

ZÖTTL, H.W. Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands. In: FAO-IUFRO. International Symposium on Forest Fertilization. p 75-95, 1973.

### **CAPÍTULO 3. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DENDROMÉTRICOS E QUÍMICOS EM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.**

#### **RESUMO**

O objetivo do presente estudo foi caracterizar a variabilidade espacial dos atributos dendrométricos, nutricionais e de fertilidade em um povoamento de *Pinus taeda* L. por meio de análise geoestatística, bem como verificar a influência dos teores de nutrientes da serapilheira e do solo sobre o teor das acículas na copa das árvores. Foram delimitadas 25 parcelas experimentais, formadas por um par de árvores dominantes da parcela, onde foram coletadas acículas de primeiro lançamento, amostras do sub-horizonte superior (Ln) da serapilheira e monólitos de solo até 10 cm de profundidade. Também foi realizada a medição de parâmetros dendrométricos altura, diâmetro na altura do peito (DAP), peso de 100 acículas, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos. As amostras foram analisadas quimicamente em laboratório, e os resultados foram submetidos à análise geoestatística. Os atributos de solo analisados não apresentaram dependência espacial, Já os atributos nutricionais das acículas e da serapilheira, de maneira geral, apresentaram forte nível de dependência espacial, com exceção do P, que não apresentou dependência nas acículas, e do Mg nas acículas que apresentou dependência média. Os parâmetros dendrométricos altura, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos apresentaram forte dependência, enquanto para DAP e peso de 100 acículas não foi possível determinar a variabilidade espacial. O modelo esférico foi o que apresentou melhor ajuste para a maior parte das variáveis. A análise dos níveis indicou que a variação nos teores de nutrientes no sub-horizonte Ln da serapilheira e no solo não influenciaram os níveis dos teores nas acículas.

**Termos de indexação:** Composição química, acículas, serapilheira, geoestatística.

### CHAPTER 3. SPATIAL VARIABILITY OF DENDROMETRIC AND CHEMICAL PARAMETERS IN A *Pinus taeda* L. STAND

#### ABSTRACT

The purpose of the present study was to characterize the spatial variability of growth, fertility and nutritional parameters on *Pinus taeda* L., stand by means of geostatistical analysis, and verify the relation between nutrients in litter and soil with those in the crown. Twenty five sample units were established, formed by a pair of dominant trees in the quota. The samples for study were needles from the first flush growth from the upper crown with northern exposition, Ln layers from litter and top soil cores at 0 – 10 cm depth. Also, measurements of total tree high (H), diameter at Breast height (DBH), flush length, live whorls and weight of 100 needles mass were recorded. The needles, litter and soil samples were chemically analyzed and the results submitted to geostatistical evaluation. The soil attributes did not present any spatial dependency, while needles and litter, in general, presented high spatial dependency, with exception of P, which presented lack of dependence on the needles, and Mg, which presented only medium spatial dependence on the needles. Height, flush length and living whorls presented strong spatial dependency, while for DBH and mass of 100 needles was not possible to determine the spatial variability. The spherical model presented the best adjustment for the majority of the tested variables. The analysis of nutrient levels in soil and needle litter samples indicated that they do not influence the nutrient levels in the crown needles.

**Index terms:** Chemical composition, needles, litter, geostatistics.



### 3.1. INTRODUÇÃO

O cultivo comercial de pinus está bastante disseminado no Brasil, abrangendo cerca de 1,8 milhões de hectares plantados (SBS, 2008). As condições de adaptação da espécie aos solos ácidos, que configuram extensas áreas no país, aliada a baixa exigência nutricional, contribuíram para a expansão da cultura no país (Kronka et al., 2005). Apesar da baixa exigência nutricional considerada, em alguns casos ocorre a manifestação de sintomas visuais nas acículas e queda na produtividade, denotando problemas nutricionais, resultado de um solo cada vez mais empobrecido pela exportação de nutrientes (Reissmann & Zöttl, 1987).

Diante das alterações ocasionadas pelos plantios, surge a necessidade de maiores estudos sobre as características do solo e aspectos nutricionais das plantas visando a não exaustão dos sítios florestais (Brun et al., 2009). Apesar da aparente homogeneidade características dos plantios florestais, existem variações relacionadas ao solo, topografia e manejos culturais cujo conhecimento é importante para o manejo florestal (Mello et al., 2005).

A silvicultura de precisão, que pode ser definida como um conjunto de técnicas aplicáveis ao manejo florestal com o objetivo de prever o comportamento espacial e produtivo das florestas, é uma ferramenta de grande auxílio no planejamento e manutenção do plantio florestal. Dentre as técnicas aplicadas neste tipo de estudo, emerge aquelas que envolvem a geoestatística, visando desenvolver mapas de produtividade com base nas informações coletadas no campo (Rufino et al., 2006).

A geoestatística possibilita a determinação da variabilidade espacial de um atributo, considerando a dependência espacial dentro de um intervalo de amostragem, e também a visualização espacial desta variabilidade, representando uma eficiente ferramenta de suporte à decisão no manejo de solo e água das espécies florestais (Silva et al., 2003; Bognola et al., 2007; Gomes et al., 2007).

Entre os fatores que interferem na produtividade dos sítios, os solos têm grande importância dentro da variabilidade da área, uma vez que variam de acordo com uma dependência espacial (Corá & Beraldo, 2006). Esta variação natural é ocasionada pelos próprios fatores de formação do solo, que devido a efeitos de relevo e da desuniformidade no intemperismo do material de origem, resultam em heterogeneidade do solo, tanto vertical como horizontalmente (Souza et al., 2004). No segmento florestal é importante avaliar a dependência espacial entre as características dendrométricas e o meio físico, permitindo a

exploração adequada das relações existentes e que podem afetar o rendimento dos povoamentos (Bognola et al., 2007).

A dependência espacial dos atributos físicos e químicos do solo pode ser observada em diversos estudos, destacando-se características como densidade do solo e frações texturais (Grego & Vieira, 2005; Gomes, 2007), pH, Ca, Mg e V% (Silva et al., 2003; Souza et al., 2004; Montanari et al., 2008), seja em condições naturais ou sob influência de adubação (Corá & Beraldo, 2006). Também são encontrados estudos que descrevem a variabilidade dos atributos dendrométricos de povoamentos florestais, especialmente altura, diâmetro e parâmetros de produtividade (Mello et al., 2005; Bognola et al., 2007), muitas vezes relacionados com os atributos do solo (Rufino et al., 2006; Rosa Filho et al., 2011).

O conhecimento da variabilidade espacial é de suma importância no estudo do solo e sua capacidade produtiva, permitindo o manejo preciso das áreas agrícolas (Grego & Vieira, 2005). Os semivariogramas gerados na análise geoestatística possibilitam definir a distância a partir da qual um determinado atributo é considerado independente, resultando em otimização do esquema de amostragem e diminuindo os problemas estatísticos que poderiam surgir com a aplicação da teoria clássica de amostragem que desconsidera a continuidade espacial (Bognola et al., 2007; D'Andréa et al., 2011).

Baseado no exposto, o objetivo do presente estudo foi caracterizar a variabilidade espacial dos atributos dendrométricos e nutricionais das árvores e de fertilidade do solo em um povoamento de *Pinus taeda* L. por meio de análise geoestatística.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO**

O experimento foi localizado no município de Ponta Grossa – PR, na região de São Luiz do Purunã, na empresa Slaviero Florestal, nas coordenadas geográficas aproximadas de 25°17'45"S e 49°55'54" O, em povoamentos de *Pinus taeda* de segunda rotação, com idade de seis anos. O clima na região é classificado como Cfb segundo Köppen, e o solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico. Foram delimitadas 25 unidades experimentais, sendo que cada uma abrangeu 25 m<sup>2</sup> e foi formada a partir da escolha da árvore mais grossa na parcela (Figura 3.1). Entre as circundantes, foi selecionada outra árvore de diâmetro equivalente, constituindo um par da classe dominante (Moro et al., 2007).

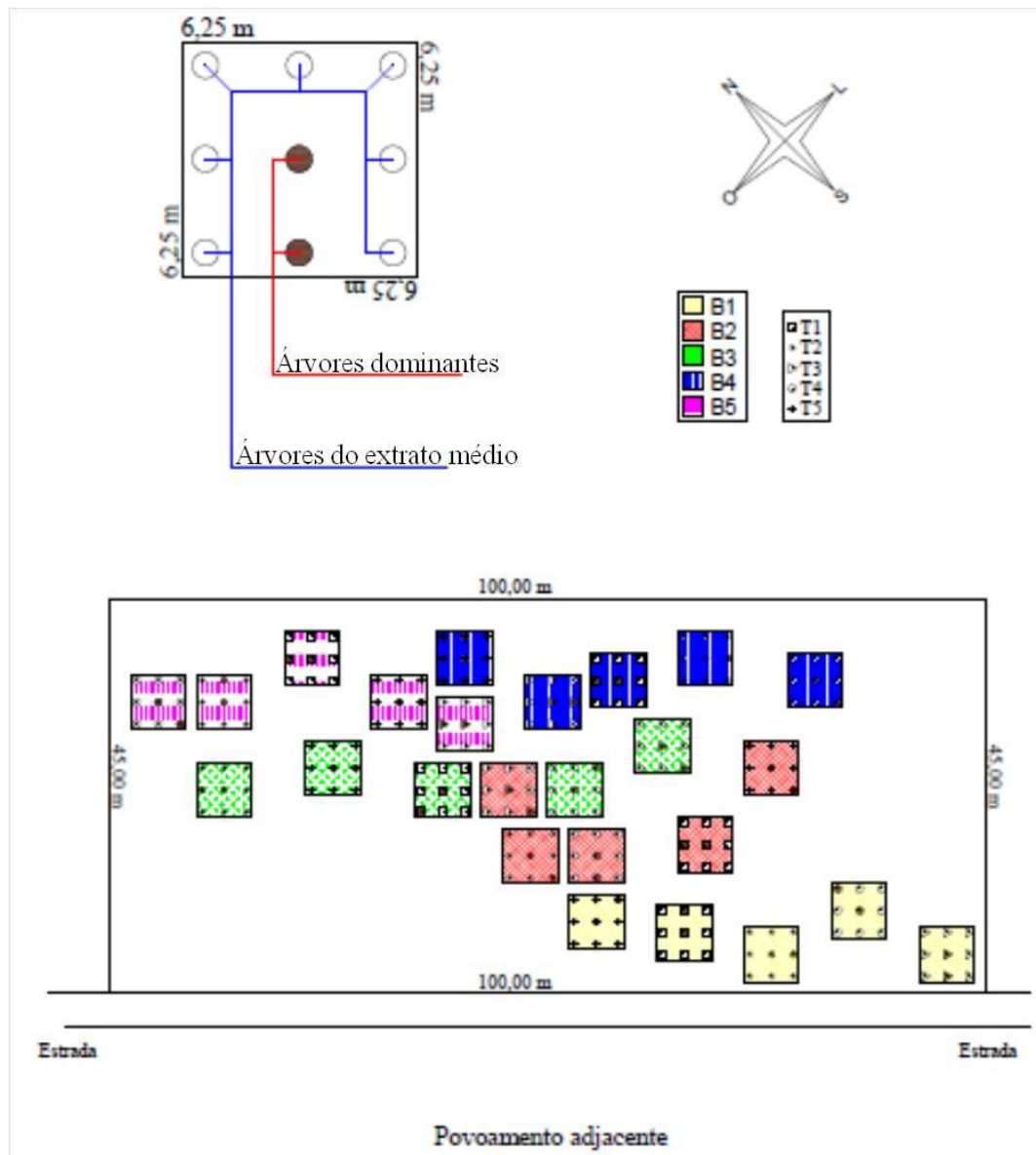


Figura 3.1. Croquis da área experimental

Essa classe diamétrica representa a altura dominante da área (Blum e Hildebrand, 1977), apresentando no todo do povoamento a menor variação morfológica entre indivíduos. Em média o número desta classe de árvores resulta em 100 indivíduos por hectare, aproximadamente. Como são árvores excluídas dos desbastes, principalmente os seletivos, é possível acompanhá-las até por ocasião do corte final.

Na base da árvore central de cada parcela, foi feita a adubação em quatro pontos de aplicação de 0,0625m<sup>2</sup> cada, na projeção da copa, sendo o adubo incorporado à 20 cm de profundidade. Em um dos pontos de adubação, foi enterrado um tubo rizosférico, feito de PVC com 20 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, preenchido com solo, que foi

encaixado ao redor de uma raiz com aproximadamente 5 mm de diâmetro da árvore em estudo, contendo no seu interior um cilindro de tecido em nylon de 18 cm de comprimento e aproximadamente 2 cm de diâmetro, contendo 100 g de mineral particulado, que variou de acordo com o tratamento descrito abaixo, para analisar o grau de desgaste ou intemperismo frente a ação das raízes.

Os tratamentos são: T1 – Testemunha sem adubação; T2 – Testemunha com adubação completa (N, P, K, calcário e os micronutrientes Cu, Zn e B); T3 – Adubação com N, K, calcário, micronutrientes, omissão de P e adição de apatita; T4 - Adubação com N, P, K, micronutrientes, omissão de Ca e Mg e adição de piroxênio; T5 - Adubação com N, P, calcário, micronutrientes, omissão de K e adição de feldspato.

As árvores circundantes à de estudo receberam a mesma adubação que esta, apenas sem a inserção do tubo rizosférico contendo o mineral particulado. As doses utilizadas são equivalentes a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K, 1300 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, 2 kg ha<sup>-1</sup> de B e 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Cu. As fontes utilizadas foram sulfato de amônio, superfosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de cobre, sulfato de zinco e ácido bórico.

Considerando a maior concentração de raízes finas, responsáveis pela absorção de nutrientes, nos primeiros 10 cm do solo (Lopes et al., 2010), foi realizado isolamento das parcelas com o uso de lonas enterradas até 30 cm de profundidade, visando diminuir o acesso das raízes de uma parcela para a outra.

### 3.2.2. COLETA DAS AMOSTRAS

Em junho de 2011, procedeu-se a coleta de acículas e serapilheira. A coleta foi realizada na árvore central da parcela e também no seu par da classe dominante. Foram coletadas acículas de primeiro lançamento de um verticilo vivo na base do terço superior, com exposição norte. Foram selecionados os valores de primeiro lançamento por ser o mais maduro e com isso mais representativo da condição nutricional da planta. Da serapilheira foi feita a coleta apenas do sub-horizonte superior Ln (Trevisan et al., 1987) com o auxílio de gabarito de 0,0625 m<sup>2</sup> em quatro pontos na projeção da copa das duas árvores em estudo. Também se procedeu a coleta de amostra indeformada na camada de 0 a 10 cm do solo, com volume de 2000 cm<sup>3</sup> em cada uma das parcelas, para determinação da densidade de raízes. Posteriormente as amostras foram deformadas em laboratório para realização da análise de solo.

Foi determinada a altura total das plantas com hipsômetro de Blume Leiss, o diâmetro à altura do peito (DAP) com suta, e por observação a olho nu, o número de verticilos vivos. Em laboratório, foi determinado o comprimento dos lançamentos coletados, com régua graduada, o diâmetro do galho com paquímetro, e o peso de 100 acículas em balança analítica de precisão. Entende-se como lançamento, o equivalente em inglês de “flush growth”, para cada segmento formado no crescimento da primavera e verão do último período de crescimento expressivo, sendo então subdivididos em primeiro e segundo lançamento respectivamente.

### 3.2.3. ANÁLISE DO MATERIAL COLETADO

A análise das acículas e do sub-horizonte Ln da serapilheira foi realizada através do mesmo procedimento, diferindo apenas na lavagem, que não foi realizada na serapilheira. As acículas foram lavadas com água desionizada, seco em estufa à 60°C e moído. Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn foram analisados após incineração a 500°C, e solubilização com HCl 3 mol L<sup>-1</sup> segundo Martins e Reissmann (2007). A determinação do teor de P foi feita através de colorimetria em espectrofotômetro UV/VIS, K e Na foram lidos por fotometria de chama, e os demais elementos por absorção atômica.

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas seguiram os procedimentos descritos pela Embrapa (1997): pH CaCl<sub>2</sub>, pH SMP; teores trocáveis de Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> - extração com KCl 1 ml L<sup>-1</sup>; teores trocáveis de K<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mn e Fe e disponível de P – extração com solução de Mehlich-1; acidez potencial não trocável (H) – extração com acetato de Ca 0,5 mol L<sup>-1</sup>; teor de carbono orgânico, Cu, Mn, Fe e Zn.

### 3.2.4. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Através dos dados obtidos na análise dos parâmetros dendrométricos, análise química das acículas, do sub-horizonte Ln da serapilheira e do solo, foi avaliada a distribuição espacial das variáveis na área de estudo. Estes atributos também foram analisados através da estatística descritiva, avaliando média, mediana, desvio padrão (DP), assimetria, curtose e coeficiente de variação (CV). Para a análise do CV adotou-se a classificação de Pimentel-Gomes (1985), sendo: baixa variabilidade (CV < 10%), média variabilidade (10 ≤ CV < 20), alta variabilidade (20 ≤ CV < 30) e muito alta variabilidade (CV > 30).

Para descrição da variabilidade espacial considerou-se uma malha com base no espaçamento de 2,5 m entre árvores, porém devido a variações do plantio a malha foi considerada irregular. Para cada variável, foram gerados semivariogramas, que são gráficos que relacionam a semivariância de uma variável com uma distância ( $h$ ), como pode ser observado na figura 3.2, apresentada por Oliveira Jr. (2011). No semivariograma, são fornecidos os parâmetros (Silva et al., 2003): (1) efeito pepita ( $C_0$ ), que representa o erro amostral, sendo o valor da semivariância para a distância zero; (2) patamar ( $C_0+C_1$ ), que representa o ponto de estabilidade da curva sobre um valor constante, determinando a distância limite entre a dependência e a independência entre as amostras; (3) alcance ( $a$ ), que é a distância da origem até a estabilidade do patamar, indicando o limite da dependência espacial da variável analisada.

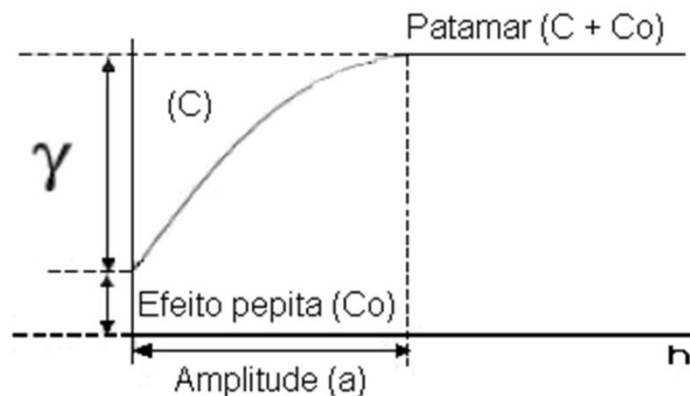


Figura 3.2. Representação de um semivariograma (Landim & Struraro, 2002)

A escolha do modelo teórico de melhor ajuste para a distribuição dos dados foi feita com base no coeficiente de determinação ( $r^2$ ), e a confiança do modelo escolhido foi testada através da validação cruzada (Oliveira Jr., 2011). Quando verificada a dependência espacial, os valores foram interpolados através da krigagem. A análise foi realizada através do programa GS+ for Windows (Robertson, 1998).

Com base na proporção do efeito pepita em relação ao valor do patamar ( $C_0/C_0+C_1$ ), estimou-se a dependência espacial das amostras de acordo com os valores apresentados por Cambardella et al. (1994) sendo baixa dependência quando a relação é superior a 75%, média dependência quando a proporção está entre 25 e 75%, e alta dependência quando a proporção é menor que 25% do patamar.

Os teores de nutrientes nas acículas foram classificados em altos, médios e baixos com base nos valores descritos por Zöttl (1973), e os níveis obtidos foram comparados com os níveis da serapilheira e do solo através do programa IDRISI (Eastman, 1990).

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de dependência espacial, a maior parte dos atributos químicos do solo resultou em efeito pepita puro, indicando que as variáveis são independentes na área amostrada e a distribuição espacial é aleatória. Este resultado não era esperado, tendo em vista que diversos trabalhos relatam a presença de dependência espacial das características do solo (Silva et al., 2003; Souza et al., 2004; Grego & Vieira, 2005; Corá & Beraldo, 2006; Zanão Júnior et al., 2007; Montanari et al., 2008; D'Andréa et al., 2011). No presente estudo, é possível que processos de preparo ocorridos na área e a adubação realizada em virtude do experimento de omissão de nutrientes tenham causado alterações no solo que mascararam o efeito da dependência dos atributos. Esperava-se encontrar dependência nos teores de Fe e Mn, nutrientes naturalmente presentes no solo e que não foram aplicados via adubação. Porém, mesmo nestas variáveis a dependência espacial não foi verificada. Desta forma, os dados de solo foram avaliados apenas no estudo da relação entre os teores de nutrientes no solo em comparação com os teores das acículas, buscando a influência de uma variável sobre a outra.

As variáveis dendrométricas (Tabela 1) apresentaram distribuição próxima ao do tipo normal, já que os valores de média e mediana estão próximos. Para a altura, estes dois valores são iguais.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos dendrométricos analisados.

<b>Atributos</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>DP<sup>(1)</sup></b>	<b>CV%<sup>(2)</sup></b>	<b>Assimetria</b>	<b>Curtose</b>
Altura (m)	11,63	11,63	10,00	13,50	0,95	8,14	-0,39	-0,69
DAP (cm)	19,34	19,50	16,50	23,00	1,58	8,15	-0,42	-0,56
Nº de verticilos	10,28	10,00	6,00	20,00	2,93	28,48	-0,59	1,75
Comprimento do lançamento (cm)	46,27	44,00	30,00	85,00	12,60	27,23	0,74	1,01
Peso 100 acículas (g)	5,09	4,89	3,45	8,06	1,08	21,23	1,18	0,30

<sup>(1)</sup>DP - Desvio-padrão. <sup>(2)</sup>CV - coeficiente de variação.

O coeficiente de variação (CV), que indica quanto os valores estão distantes da média, mostrou que as variáveis altura e diâmetro na altura do peito (DAP) apresentaram baixa variabilidade, enquanto os demais atributos dendrométricos apresentaram variabilidade alta (Pimentel-Gomes, 1985).

Na análise geoestatística, DAP e peso médio de 100 acículas não apresentaram dependência espacial, tendo o semivariograma resultado em efeito pepita puro (Figura 3.3). Este resultado indica que a amostragem não foi suficiente para detectar a variabilidade. Seria necessário um maior número de amostras para caracterização da variabilidade destes atributos. Já as variáveis altura, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos podem ser consideradas como fortemente dependentes espacialmente, já que apresentaram efeito pepita menor do que 25% do valor do patamar obtido no semivariograma (Cambardella et al., 1994), sob os ajustes esférico, para as duas primeiras variáveis, e exponencial para a última. Apesar disso, os valores de  $r^2$  obtidos, que foram de 0,41, 0,42 e 0,24, respectivamente, indicam que o ajuste dos dados ao modelo escolhido foi baixa e a estimativa dos pontos não amostrados apresenta baixa confiabilidade. O modelo teórico não foi confirmado através da validação cruzada, e por esta razão os dados não foram espacializados. Mello et al. (2005) também verificou forte dependência espacial da altura média das árvores de eucalipto e média dependência do diâmetro médio e área basal.

Estes resultados diferem do encontrado por Rosa Filho et al. (2011) que observou moderada dependência espacial do perímetro na altura do peito e (PAP) e na altura em plantas de eucalipto, sob ajuste esférico e exponencial, respectivamente. Rufino et al. (2006) também observaram dependência espacial para as variáveis altura dominante, altura média total, área basal e diâmetro médio em um povoamento de eucalipto. Os dados relativos à altura obtidos por Spiazzi et al. (2011), trabalhando com plantas de pinus com idade entre 25 e 30 anos, foram similares aos obtidos no presente estudo, porém a dependência espacial foi moderada sob o modelo exponencial. Em contrapartida, os autores também obtiveram dependência espacial forte para o DAP, sob o modelo esférico.

O alcance da dependência foi de 6,14 m para altura, 4,77 m para o comprimento dos lançamentos e 37,32 m para o número de verticilos. O valor do alcance, superior ao espaçamento da malha de amostragem, indica a eficiência do espaçamento adotado na caracterização da variabilidade espacial destes atributos. O alcance é inversamente proporcional à variabilidade espacial, e a partir desta distância a curva do modelo teórico se estabiliza e as amostras não apresentam mais dependência espacial, ou seja, os valores obtidos ocorrem de forma aleatória no espaço (Oliveira Jr, 2011).



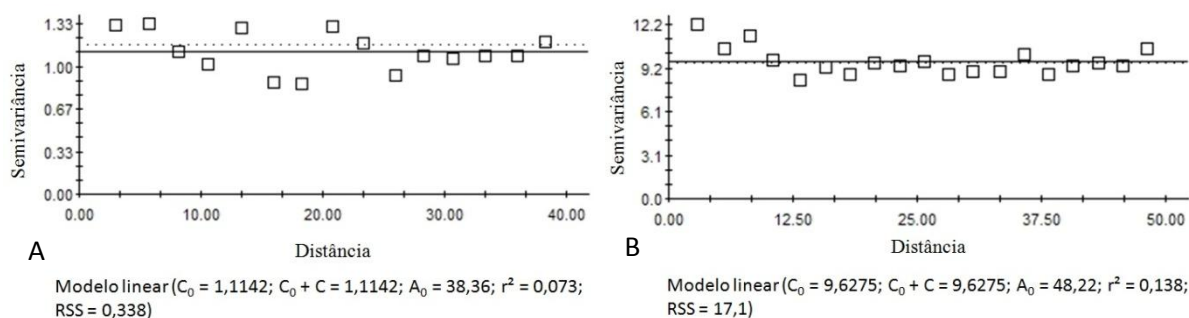


Figura 3.3. Semivariogramas das variáveis peso de 100 acículas (A) e diâmetro (B)

Da mesma forma que os parâmetros dendrométricos, os atributos relativos à composição química apresentaram distribuição normal (Tabela 2). Os valores de máximo e mínimo são apresentados apenas como indicativo da variação dos dados, não sendo os níveis a dos teores discutidos neste tópico. O CV indica que os teores de fósforo (P) e potássio (K) apresentam variabilidade média; cobre (Cu) e manganês (Mn) tem alta variabilidade e os demais nutrientes, cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e zinco (Zn) apresentaram maior dispersão dos dados, sendo a variação muito alta (Pimentel-Gomes, 1985).

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos nutricionais das acículas de pinus.

Atributos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP <sup>(1)</sup>	CV% <sup>(1)</sup>	Assimetria	Curtose
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	1,71	1,71	1,43	2,10	0,17	10,15	0,22	-0,36
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	3,79	3,80	2,70	5,39	0,58	15,22	0,52	0,40
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	0,63	0,65	0,10	1,55	0,29	46,02	0,29	0,79
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	0,42	0,42	0,05	0,85	0,18	42,97	0,93	-0,39
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	2,95	3,00	1,25	4,50	0,77	26,25	-0,07	-0,48
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	362,98	367,78	165,67	504,75	94,32	25,99	-	-0,90
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	24,37	25,63	10,26	41,73	7,54	30,93	-0,68	-0,74
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	18,92	17,13	8,75	36,98	6,63	35,05	0,55	0,34

<sup>(2)</sup>DP - Desvio-padrão. <sup>(3)</sup>CV - coeficiente de variação.

Os atributos químicos das plantas mostraram maior dependência espacial, não sendo observado efeito pepita puro em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 3). A maior parte das variáveis teve ajuste no modelo esférico, com exceção dos teores de P, Ca e Mn, que tiveram ajuste exponencial. O teor de Mg mostrou dependência espacial moderada, com efeito pepita representando 33% do patamar, enquanto todas as demais variáveis apresentaram forte

dependência espacial. O alcance da dependência foi similar entre as variáveis. Apesar do alto valor de CV, o teor de Fe<sub>2</sub> apresentou o maior alcance da dependência (62,23 m), sendo a sua variabilidade eficientemente caracterizada pela amostragem. Esse resultado demonstra como o uso da estatística clássica isolada pode resultar em erros na interpretação da variabilidade espacial (Oliveira Jr. et al., 2011). O alcance da dependência do P foi menor do que o valor da malha de amostragem, indicando que, para melhor representação da variabilidade deste elemento na área, a distância entre os pontos amostrados deveria ser menor.

Tabela 3. Parâmetros do semivariograma para os atributos estudados nas acículas.

Variável	Modelo <sup>(1)</sup>	Efeito pepita (C0) <sup>(2)</sup>	Patamar (C0 + C1) <sup>(3)</sup>	Alcance (A) <sup>(4)</sup>	r <sup>2</sup>	C0/ C0 + C1 <sup>(5)</sup>
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	Exponencial	0,005	0,03	1,19	0,02	17,24
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,04	0,36	8,54	0,30	11,11
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	Exponencial	0,03	0,13	12,12	0,85	23,08
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,01	0,03	13,53	0,67	33,33
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,02	0,74	28,16	0,89	2,70
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	Exponencial	640	10640	16,80	0,76	6,02
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	Esférico	20,2	83,68	62,23	0,84	24,14
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	Esférico	9,8	57,12	25,22	0,74	17,16

<sup>(1)</sup>Modelo - modelo teórico da curva com melhor ajuste a semivariância dos dados. <sup>(2)</sup>Efeito pepita - descontinuidade da origem do eixo y. <sup>(3)</sup>Patamar - valor de variância em que a mesma se estabiliza. <sup>(4)</sup>Alcance - distância em que ocorre o patamar. <sup>(5)</sup>Proporção: [C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)].

Apesar da forte dependência indicada pela proporção do efeito pepita sobre o patamar, a dependência espacial do teor de P não pode ser considerada, visto que o coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) foi muito baixo. O baixo coeficiente de determinação resultou em não confirmação do modelo teórico através da validação cruzada, impossibilitando a espacialização dos teores na área. Os mapas representando a espacialização dos demais nutrientes na área estão apresentados na figura 3.4.

Analisando estes mapas de espacialização, observa-se que os teores dos macronutrientes K, Ca e Mg não apresentam um padrão de distribuição na área, sendo aleatória a ocorrência dos locais de alta e baixa concentração destes elementos. Já para os micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn, o padrão de distribuição é mais facilmente identificado, especialmente para o Fe onde é possível visualizar faixas de variação na concentração. Estas faixas são coincidentes com a inclinação do terreno, que ocorre ao longo do eixo Y do mapa.

O experimento de omissão de nutrientes, discutido no capítulo anterior, possui um delineamento em blocos ao caso, no qual os blocos são orientados paralelamente com o eixo

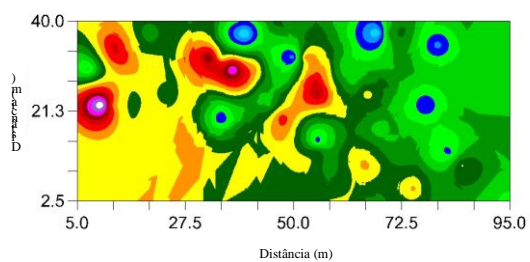
X do mapa, subindo em relação a valores do eixo Y. No campo é orientado de acordo com as curvas de nível. A variabilidade dos micronutrientes observada nos mapas também foi percebida através da análise estatística, que resultou em diferenças significativas entre os blocos analisados neste estudo, como pode ser observado na tabela 4. Os teores mais altos são verificados nos blocos I, II e III, que estão localizados na parte mais baixa do experimento, no sentido da drenagem do terreno.

Tabela 4. Teores médios de Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas nos blocos avaliados no estudo de omissão de nutrientes

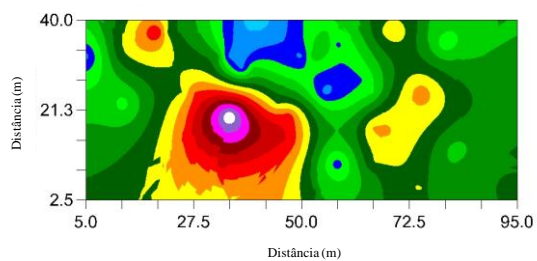
	Cu		Mn		Fe		Zn	
Blocos	mg kg-1							
I	3,4	a	425,8	a	32,05	a	18,53	ab
II	3,45	a	453,9	a	27,08	a	19,93	ab
III	3,5	a	385,2	a	25,57	ab	26,1	a
IV	2,42	b	258,3	b	19,43	bc	17,58	ab
V	1,95	b	291,6	b	17,7	c	12,45	b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

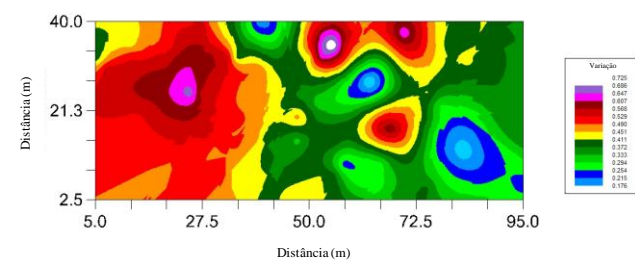
Potássio



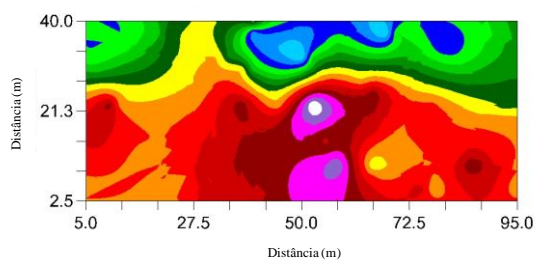
Cálcio



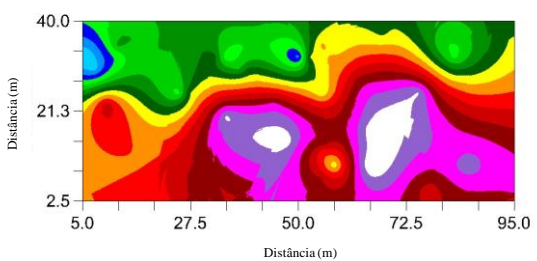
Magnésio



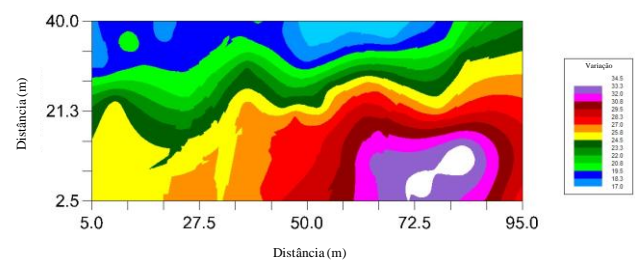
Cobre



Manganês



Ferro



Zinco

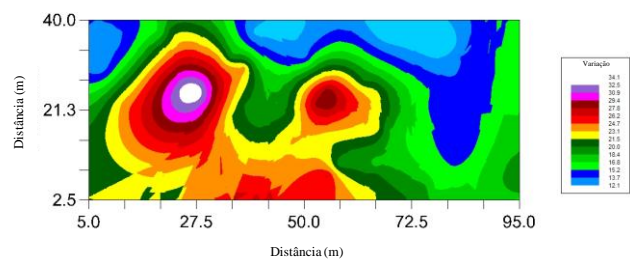


Figura 3.4. Espacialização dos teores de K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn nas acículas.

Os teores encontrados no sub-horizonte Ln da serapilheira (Tabela 5) apresentaram distribuição normal dos dados, já que houve baixa variação da média em relação à mediana. O CV diferiu do observado nas acículas, indicando variação muito alta nos teores de K, Cu, Fe e Zn, este último apresentando dispersão de dados muito superior aos demais (CV = 72,35%). Os teores de Mg tiveram alta variação, Ca e P apresentaram variação média e o Mn, que nos teores das acículas apresentou alta variação, na serapilheira a dispersão dos dados foi baixa.

Tabela 5. Estatística descritiva dos atributos nutricionais do sub-horizonte Ln da serapilheira.

Atributos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP <sup>(1)</sup>	CV% <sup>(2)</sup>	Assimetria	Curtose
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	0,46	0,45	0,30	0,73	0,09	19,99	-0,05	0,34
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	0,30	0,30	0,10	0,60	0,11	38,11	0,00	0,11
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	2,15	2,20	1,40	3,15	0,42	19,52	1,31	-0,46
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	0,37	0,35	0,20	0,60	0,10	26,80	0,17	0,08
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	0,97	0,75	0,25	2,50	0,45	46,71	0,48	1,25
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	480,46	485,86	400,10	570,71	41,51	8,64	0,87	-0,65
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	30,50	28,76	17,76	65,07	10,41	34,15	0,14	3,44
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	10,66	7,50	2,25	41,79	7,71	72,35	0,60	4,56

<sup>(2)</sup>DP - Desvio-padrão. <sup>(3)</sup>CV - coeficiente de variação.

Da mesma forma que observado nos teores das acículas, todas as variáveis analisadas na serapilheira apresentaram dependência espacial (Tabela 6). O grau de dependência é forte, sendo o efeito pepita nulo para a maior parte dos atributos. O modelo esférico foi o que melhor representou as variáveis, com exceção dos teores de P e Mn, que apresentaram melhor ajuste com o modelo exponencial.

Tabela 6. Parâmetros do semivariograma para os atributos estudados no sub-horizonte Ln da serapilheira.

Variável	Modelo <sup>(1)</sup>	Efeito pepita (C0) <sup>(2)</sup>	Patamar (C0 + C1) <sup>(3)</sup>	Alcance (A) <sup>(4)</sup>	r <sup>2</sup>	C0/C0 + C1 <sup>(5)</sup>
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	Exponencial	0,002	0,01	10,46	0,67	16,67
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,00	0,01	11,84	0,88	0,00
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,0001	0,14	6,78	0,49	0,07
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,00	0,01	6,47	0,58	0,00
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	Exponencial	0,0001	0,18	5,99	0,75	0,05
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	Esférico	1,00	1831	8,76	0,92	0,05
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	Esférico	4,40	149	12,15	0,95	2,95
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	Esférico	0,10	75,10	7,25	0,82	0,13

<sup>(1)</sup>Modelo - modelo teórico da curva com melhor ajuste a semivariância dos dados. <sup>(2)</sup>Efeito pepita - descontinuidade da origem do eixo y. <sup>(3)</sup>Patamar - valor de variância em que a mesma se estabiliza. <sup>(4)</sup>Alcance - distância em que ocorre o patamar. <sup>(5)</sup>Proporção: [C0/(C0+C1)].

Todas as variáveis responderam positivamente ao teste de validação cruzada, possibilitando a espacialização dos dados nos mapas (Figura 3.5). Diferentemente do observado para as acículas, na serapilheira não é possível observar o padrão de distribuição em faixas nos micronutrientes, sendo a distribuição dos teores bastante variada. Era esperado que o comportamento dos nutrientes da serapilheira seguisse o observado nas acículas, já que existe uma relação entre os dois extratos, porém os resultados indicam que as variáveis são independentes entre si. O efeito de diferenças entre blocos também ocorreu na serapilheira, porém apenas para os macronutrientes P, Ca e Mg (Tabela 7).

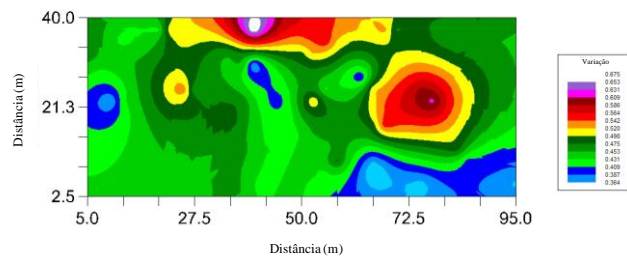
Tabela 7. Teores médios de P, K, Ca e Mg no sub-horizonte Ln da serapilheira nos blocos avaliados

	P	K	Ca	Mg
Blocos	g kg <sup>-1</sup>			
I	0,39 b	0,27 a	1,72 b	0,33 ab
II	0,48 ab	0,29 a	2,15 ab	0,35 ab
III	0,46 ab	0,38 a	2,31 ab	0,46 a
IV	0,44 b	0,33 a	2,41 a	0,37 ab
V	0,54 a	0,23 a	2,14 ab	0,31 b

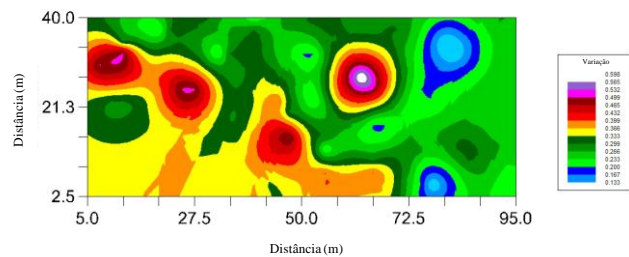
As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A análise dos níveis de nutrientes nas acículas, feita com base nos teores descritos por Zöttl (1973), revelou que os teores de Mn e Zn são altos em toda a extensão da área analisada; K, Mg e Fe são encontrados em teores que variam de baixo à médio; P apresenta níveis médios à altos, e Cu e Ca são encontrados nos três níveis (Tabela 8). O comparativo destes níveis nutricionais com os teores médios encontrados no sub-horizonte Ln da serapilheira demonstra que para a maior parte das variáveis os dois extratos não estão relacionados. Não foi verificada variação significativa nos teores de nutrientes na serapilheira com a alteração do nível nutricional nas acículas.

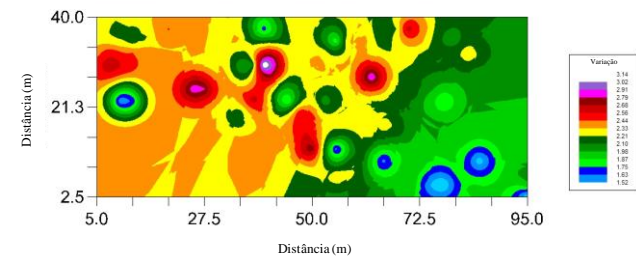
Fósforo



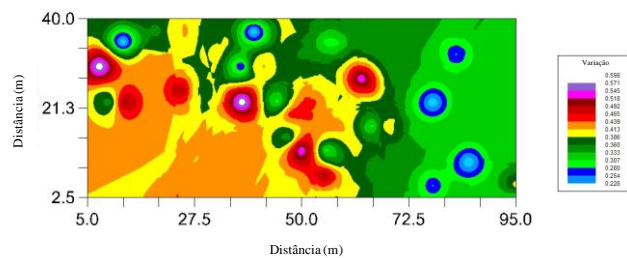
Potássio



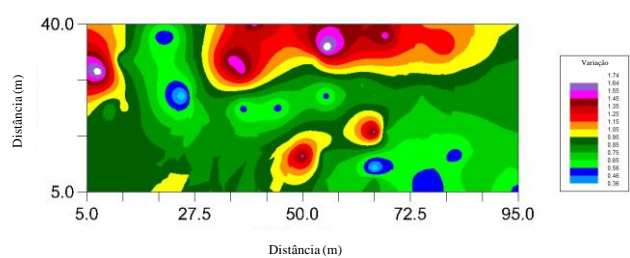
Cálcio



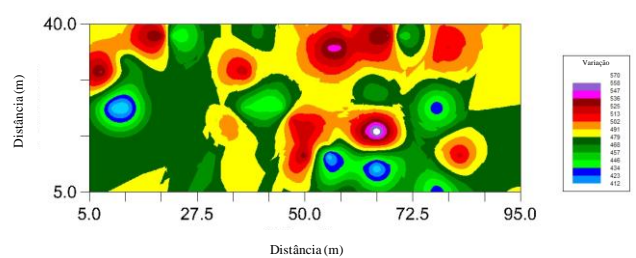
Magnésio



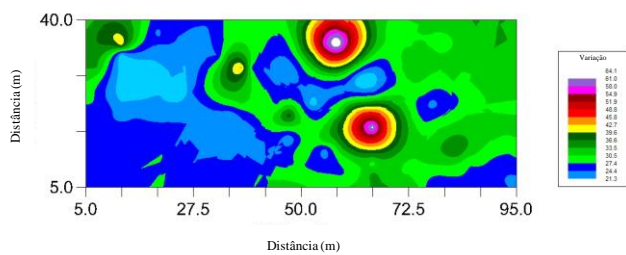
Cobre



Manganês



Ferro



Zinco

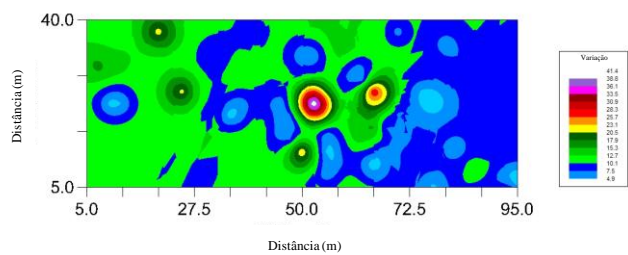


Figura 3.5. Espacialização dos teores de K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn no sub-horizonte Ln da serapilheira.

Tabela 8. Níveis de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn no sub-horizonte Ln da serapilheira em comparação com os níveis nutricionais nas acículas.

<b>Teores no sub-horizonte Ln da serapilheira</b>					
<b>Níveis na planta</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Amplitude</b>	<b>DP</b>
<b>Fósforo (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
Médio	0,4	0,7	0,6	0,3	0,09
Alto	0,3	0,7	0,5	0,3	0,05
<b>Potássio (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
Baixo	0,1	0,6	0,3	0,5	0,1
Médio	0,2	0,5	0,3	0,3	0,1
<b>Cálcio (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
Baixo	1,6	3,0	2,3	1,4	0,2
Médio	1,4	3,1	2,2	1,7	0,2
Alto	2,1	2,6	2,3	0,6	0,1
<b>Magnésio (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
Baixo	0,2	0,6	0,4	0,4	0,1
Médio	0,3	0,6	0,4	0,3	0,0
<b>Cobre (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
Baixo	0,9	1,7	1,2	0,8	0,1
Médio	0,3	1,7	0,9	1,5	0,2
Alto	0,5	1,1	0,8	0,6	0,1
<b>Manganês (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
Alto	400	570	480	169	20
<b>Ferro (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
Baixo	18,3	64,1	28,6	45,8	6,0
Médio	24,4	61,7	33,3	37,3	6,6
<b>Zinco (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
Alto	2,3	41,4	10,7	39,1	3,4

A ausência de relação entre as variáveis não era esperada, uma vez que as acículas que formam o sub-horizonte Ln da serapilheira, amostrada no trabalho, são oriundas da senescência das acículas verdes. Além disso, grande parte dos nutrientes absorvidos pela planta são aqueles liberados pela decomposição da serapilheira (Switzer & Nelson, 1972), relacionando os dois extratos. Porém, embora as amostras de serapilheira tenham sido coletadas dentro da projeção da copa das árvores em estudo, é possível que haja contribuição de outras plantas no material, trazidas com o vento ou através da movimentação na área, o que resultou na perda da relação.

Os teores médios de Cu indicam que ocorre diminuição da concentração do nutriente na serapilheira quanto maior o nível nas acículas. Este resultado pode estar relacionado com a



remobilização do nutriente na planta durante a senescência da acícula. Já o Fe demonstra comportamento contrário, sendo o aumento dos teores na serapilheira proporcionais ao aumento na planta. Entretanto este efeito não é observado quando avaliamos os teores máximos e mínimos encontrados, já que o maior valor máximo foi obtido juntamente com teores baixos na planta.

Da mesma forma que observado na serapilheira, de maneira geral o nível dos nutrientes no solo também não apresentou influência sobre os níveis na planta (Tabela 9). Este efeito é devido à pequena contribuição relativa do solo em fornecer nutrientes para plantas de pinus, comparativamente com a decomposição da serapilheira, transferência interna ou lavagem do dossel (Switzer & Nelson, 1972).

Tabela 9. Níveis de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn no solo em comparação com os níveis nutricionais nas acículas.

Níveis no solo					
Níveis na planta	Mínimo	Máximo	Média	Amplitude	DP
<b>Fósforo (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>					
Médio	6,6	17,1	14,7	10,5	4,0
Alto	4,6	55,1	12,0	50,5	5,6
<b>Potássio (<math>\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}</math>)</b>					
Baixo	0,02	0,06	0,03	0,04	0,00
Médio	0,02	0,06	0,03	0,04	0,01
<b>Cálcio (<math>\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}</math>)</b>					
Baixo	0,9	2,1	1,2	1,2	0,2
Médio	0,9	1,8	1,1	0,9	0,1
Alto	1,1	1,4	1,2	0,3	0,0
<b>Magnésio (<math>\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}</math>)</b>					
Baixo	0,1	1,5	0,2	1,4	0,1
Médio	0,1	0,7	0,2	0,6	0,1
<b>Cobre (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>					
Baixo	0,3	1,0	0,6	0,7	0,1
Médio	0,1	3,2	0,6	3,1	0,2
Alto	0,5	1,0	0,7	0,5	0,2
<b>Manganês (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>					
Alto	1,6	29,0	13,0	27,4	4,4
<b>Ferro (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>					
Baixo	79,9	135,9	100,2	56,0	5,8
Médio	84,1	113,4	98,2	29,3	4,5

Apenas os teores de P variaram com a alteração do nível nutricional da planta, porém de forma inversa. Os níveis no solo variaram de baixo a médio (SBCS, 2004) quando os teores na planta foram altos e médios, respectivamente. Este resultado difere do observado por Martins (2011), que verificou os menores teores absolutos nas acículas de primeiro lançamento coincidindo com os menores teores de P solúvel nas camadas superficiais do solo.

Os altos teores de Ca e Cu no solo (SBCS, 2004) resultaram em teores baixos, médios e altos na planta. Já a alta disponibilidade de Mn refletiu-se em altos teores do nutriente nas plantas. Os teores baixo e muito baixo de Mg e K no solo, respectivamente, resultaram em teores baixos e médios na planta. A variação nos teores de Fe também não causou alterações no teor foliar. Estes resultados indicam que as árvores apresentam comportamento particular, independente do meio em que se encontram, especialmente em relação ao Fe (Mengel & Kirkby, 1987).

### 3.4. CONCLUSÕES

Não foi possível verificar a dependência espacial dos atributos químicos do solo, tendo os semivariogramas resultado em efeito pepita puro para a maior parte das variáveis analisadas.

Os atributos dendrométricos, DAP e peso médio de 100 acículas não apresentaram dependência espacial, enquanto as variáveis altura, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos apresentaram forte dependência espacial, sob ajuste do modelo esférico, para as duas primeiras variáveis, e exponencial para a última.

O estado nutricional das acículas apresentou forte dependência espacial para todas as variáveis, com exceção do Mg que apresentou dependência média. O P, apesar da forte dependência indicada pela proporção do efeito pepita sobre o valor do patamar, apresentou valor de relação ( $r^2$ ) muito baixo, não sendo considerada a sua dependência espacial. O modelo teórico esférico apresentou melhor ajuste para a maior parte das variáveis, com exceção do P, Ca e Mg, que tiveram ajuste exponencial.

Para os teores nutricionais na serapilheira foi observada dependência espacial forte para todas as variáveis sob o ajuste esférico, com exceção do P e Mn que se ajustaram ao modelo exponencial.

A análise dos níveis indicou que a variação nos teores de nutrientes no sub-horizonte Ln da serapilheira e no solo não influenciaram os níveis dos teores nas acículas, indicando independência da variável em relação ao meio.

### 3.5. LITERATURA CITADA

BLUM, W.E.H. & HILDEBRAND, E.E. Nährelementversorgung und Wachstum von *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., auf zwei Toposequenzen in Paraná/Suedbrasilien. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch, 25: 357-366, 1997.

BOGNOLA, I.A.; RIBEIRO Jr., P.J.; SILVA, E.A.A. da; LINGNAU, C. & HIGA, A.R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. Revista Floresta, 38: 373- 385, 2007.

BRUN, E.J.; BRUN, F.G.K.; MEYER, E.A.; SCHUMACHER, M.V. & TRÜBY, P. Variação da acidez do solo sob plantios de *Pinus elliottii* Engelm. de diferentes idades, na região central do Rio Grande do Sul. Synergismus scyentifica UTFPR, 04: 25-27, 2009.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-Scale Variability os Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, 58: 1501-1511, 1994.

CORÁ, J.E. & BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, 26:374-387, 2006.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F. de; CURI, N. & SILVA, C.A. Variabilidade espacial do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em povoamento de eucalipto. Revista Floresta, 41:407-422, 2011.

EASTMAN, J.R. IDRISI – A grid-based geographical analyses system. Clark University: Worcester, 1990.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª edição. Rio de Janeiro. 1997.

GOMES, N.M.; FARIA, M.A. de; SILVA, A.M. da; MELLO, C.R. de & VIOLA, M.R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11:427-435, 2007.

GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F. & PONCE, R.H. A Cultura do *Pinus* no Brasil. São Paulo, 160 p. 2005.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/kindicativa.pdf>>. Acesso em: 10/12/2010.

LOPES, V.G.; SCHUMACHER, M.V.; CALIL, F.N.; VIERA, M. & WITSCHORECK, R. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, 20: 569-578, 2010.

MARTINS, A.P. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agrária*, 8,1: 1-17, 2007.

MARTINS, I.L. Análise nutricional do P em um povoamento de *Pinus taeda* L., submetido a um ensaio de omissão de nutrientes. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. 91 p. Curitiba, 2011.

MELLO, J.M. de; BATISTA, J.L.F.; OLIVEIRA, M.S. de; RIBEIRO Jr., P.J. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. *Cerne*, 11: 113-126, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of Plant Nutrition. 4a edição, Editora Internacional Potash Institute, Switzerland, 1987.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES Jr., J.; SOUZA, Z.M. de; PAZETO, R.J. & CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolo. *Ciência Rural*, 38:1266-1272, 2008.

MORO, L.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da & REISSMANN, C.B. Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS. Revista Floresta, 38: 465-477, 2007.

OLIVEIRA Jr., J.C. Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da formação Guabirotuba. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. 77 p. Curitiba, 2011.

OLIVEIRA Jr., J.C.; SOUZA, L.C.de P.; MELO, V de F. ROCHA, H.O. da. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da Formação Guabirotuba, Curitiba – PR. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35: 1481-490, 2011.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. São Paulo, 1985. 467 p.

REISSMANN, C.B. & ZÖTTL, H.W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito – Grupo Guatá. Revista do Setor de Ciências Agrárias, 9: 75-80, 1987.

ROBERTSON, G.P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Michigan: Gamma Design Software, 1998.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M.P.; MONTANARI, R.; SILVA, J.M. da; SIQUEIRA, G.M. & ZAMBIANCO, E.C. variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. Bragantia, 70: 439-446, 2011.

RUFINO, T.M.C.; THIERSCH, C.R.; FERREIRA, S.O.; KANEGAE Jr., H. & FAIS, D. Uso da Geoestatística no Estudo da Relação entre Variáveis Dendrométricas de Povoamentos de *Eucalyptus sp.* e Atributos do Solo. Ambiência, 2:83-93, 2006.

SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL. Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10ª edição, Porto Alegre, 2004. 400 p.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e Números do Brasil Florestal. 93 p. 2008.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L. & FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 1013-1020, 2003.

SOUZA, Z.M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 34:1763-1771, 2004.

SPIAZZI, F.R.; BORGES, S.C.; SOTHE, C. & RAFAELI NETO, S.L. Avaliação da estrutura espacial de um povoamento de *Pinus sp.* com o uso de SIG e da geoestatística. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, 2011. Anais. p. 1773-1778.

SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Nutrient Accumulation and Cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Plantation Ecosystems: The First Twenty Years. *Soil Science Society of America – Proceedings*, 36: 143-147, 1972.

TREVISAN, E.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W. & LIMA, J.M.J.C. Morfologia de horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L. em três sítios distintos. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, 9: 59-62, 1987.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q. & GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ciência Rural*, 37: 1000-1007, 2007.

ZÖTTL, H.W. Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands. In: FAO-IUFRO. International Symposium on Forest Fertilization. p 75-95, 1973.

## CONCLUSÃO GERAL

Os valores obtidos nos atributos dendrométricos indicam que o desenvolvimento das árvores está de acordo com um índice de sítio médio.

De maneira geral, os teores dos nutrientes foram considerados insatisfatórios para o desenvolvimento adequado das árvores. Apesar dos baixos teores, também observados no sub-horizonte Ln da serapilheira, a aplicação de nutrientes nos tratamentos não elevou os teores nas acículas.

O solo em condição natural apresentou baixa fertilidade e elevada acidez. Os tratamentos influenciaram os atributos químicos do solo não rizosférico e também do solo rizosférico, de maneira bastante variada. O solo rizosférico diferiu do solo não rizosférico de maneira mais acentuada em condição sem adubação, e nas variáveis pH, K, C e CTC.

Não foi observada dependência espacial dos atributos químicos do solo, do diâmetro e do peso médio de 100 acículas. As variáveis altura, comprimento dos lançamentos e número de verticilos vivos apresentaram forte dependência espacial, assim como os teores de nutrientes nas acículas e no sub-horizonte Ln da serapilheira.